



Rancang Bangun Sistem Monitoring Parameter Penggunaan Baterai Sepeda Listrik Uwinfly Berbasis ESP32 Menggunakan Sensor PZEM-017 dan Analisis APE dan MAPE

Ahmad Syauqi Fittaqi ^{a,1,*}, Budi Cahyo Wibowo ^{b,2}

^a Universitas Muria Kudus, Jl. Lkr. Utara UMK Gondangmanis, Kudus, Indonesia

^b Universitas Muria Kudus, Jl. Lkr. Utara UMK Gondangmanis, Kudus, Indonesia

¹ kikiviitaqi12@gmail.com*; ² budi.cahyo@umk.ac.id;

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Submission : 09-07-2026

Revision : 28-07-2026

Accepted : 07-09-2026

Kata Kunci:

ESP32, PZEM-017, Modbus RTU, Monitoring Baterai, akurasi pengukuran.

ABSTRAK

Sistem penggunaan dan pengisian baterai memerlukan pemantauan parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya secara real-time untuk memastikan proses penggunaan berjalan aman dan efisien. Namun, proses penggunaan dan pengisian baterai pada sepeda listrik Uinfly D65 masih belum menerapkan sistem monitoring penggunaan dan pengisian baterai secara real-time menggunakan sensor. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring penggunaan dan penggunaan baterai berbasis ESP32 dengan memanfaatkan sensor PZEM-017 yang berkomunikasi melalui UART RS485. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (RND) yang bertujuan untuk mengembangkan dan menghasilkan sebuah produk berupa sistem monitoring penggunaan dan pengisian baterai secara real-time berbasis sensor pada sepeda listrik Uinfly. Berdasarkan hasil perancangan, pengembangan, dan pengujian sistem, data penggunaan baterai dapat dipantau secara langsung serta memudahkan peningkatan pemahaman pengguna terhadap kondisi baterai. Pada akhirnya, artikel di masa mendatang diharapkan dapat mengembangkan sistem ini menjadi lebih terintegrasi dengan teknologi IoT yang lebih canggih, memiliki fitur proteksi otomatis, serta mampu memberikan analisis kondisi baterai secara menyeluruh sehingga meningkatkan keamanan, efisiensi, dan keandalan sepeda listrik Uinfly.

This is an open access article under license [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1. Pendahuluan

Baterai merupakan komponen utama pada sepeda listrik yang rentan mengalami kerusakan apabila proses pengisian tidak dipantau dengan baik. Pada umumnya pengisian bawaan sepeda listrik hanya memperlihatkan indikator perubahan warna led yang menandakan selesainya pengisian baterai, pengguna hanya mengetahui bahwa baterai sedang mengisi tanpa mengetahui nilai tegangan, arus, maupun daya yang sedang digunakan. Oleh untuk itu, tanpa sistem monitoring, pengguna tidak dapat mengetahui kondisi pengisian secara langsung sehingga berpotensi, ketidakstabilan arus, atau gangguan pada sistem pengisian yang dapat merusak jangka umur pakai baterai.

Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem monitoring pengisian baterai dengan pendekatan yang berbeda.[1]Rancang bangun sepeda portable charging staton 12V 6W, Meskipun penelitian tersebut telah berhasil mengimplementasikan sistem monitoring berbasis IoT, fokus utamanya masih pada integrasi sistem pengisian dan fitur kontrol pengisian prabayar. Penelitian tersebut belum membahas secara mendalam analisis akurasi pengukuran sensor PZEM-017 menggunakan komunikasi Modbus RS485 sebagai protokol komunikasi, maupun evaluasi performa sensor melalui pengujian terhadap alat ukur standar pada berbagai kondisi pengukuran.[2] Informasi pengisian baterai kendaraan sepeda motor listrik berbasis IoT, Meskipun penelitian tersebut telah mencapai tujuan yang diharapkan penelitian tersebut belum membahas penggunaan sensor PZEM-017 berbasis komunikasi Modbus RS 485 maupun analisis akurasi hasil pengukuran terhadap alat ukur standar.[3] sistem monitoring dan pengisian daya baterai pada sepeda montor listrik secara adaptive, Meskipun penelitian tersebut telah mengembangkan sistem monitoring dan pengisian daya baterai secara adaptif, penelitian tersebut belum memfokuskan pada analisis akurasi pengukuran parameter listrik menggunakan sensor PZEM-017 dengan komunikasi Modbus RS485.[4] Rancang bangun sistem pengisian dan monitoring baterai 48 volt dengan sumber PLN, Meskipun penelitian tersebut telah berhasil mengembangkan sistem monitoring pengisian baterai berbasis ESP32 dan sensor PZEM-017, penelitian tersebut lebih berfokus pada implementasi sistem monitoring berbasis IoT dan pengujian fungsional sistem secara keseluruhan. Analisis terhadap akurasi pengukuran sensor PZEM-017 belum dilakukan secara mendalam melalui pengujian dan perbandingan dengan alat ukur standar pada setiap parameter listrik yang diukur.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem monitoring pengisian baterai telah berkembang sangat pesat. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi sistem monitoring dan integrasi IoT, sedangkan evaluasi terhadap tingkat akurasi pengukuran sensor belum menjadi perhatian utama. Padahal, akurasi data hasil pengukuran merupakan aspek yang sangat penting karena berpengaruh terhadap keandalan informasi yang digunakan dalam proses pemantauan dan pengambilan keputusan selama pengisian baterai.

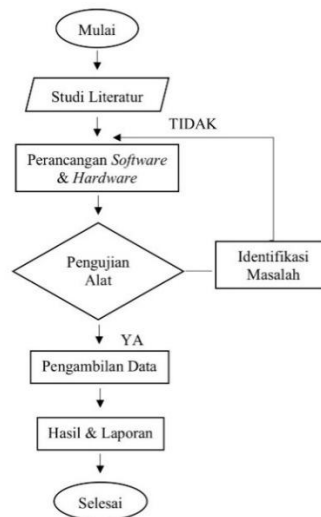
Oleh sebab itu, diperlukan adanya sistem monitoring berbasis ESP32 dan sensor PZEM-017, yang dapat menyajikan informasi secara langsung melalui display meliputi parameter listrik tegangan, arus, daya, dan energi sehingga pengguna dapat mengetahui apabila terjadi kondisi yang tidak normal, seperti arus berlebih atau tegangan tidak sesuai serta terdapat akurasi validasi perbandingan pengukuran dengan alat ukur standar. Hasil validasi tersebut diharapkan dapat menunjukkan tingkat ketelitian sistem monitoring yang dikembangkan sehingga mampu menghasilkan informasi pengukuran yang akurat, andal, dan dapat dijadikan sebagai dasar dalam mendukung proses monitoring pengisian baterai secara efektif.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Research and Development (R&D). Pemilihan metode Research and Development didasarkan pada karakteristik penelitian yang tidak hanya menghasilkan suatu produk, tetapi juga mengevaluasi kinerja produk tersebut melalui proses pengujian [5].

2.1 Tahap penelitian

Tahap penelitian ini merupakan bagian metode Research and Development, Tahapan penelitian yang digunakan dalam penelitian terlampir di bawah:

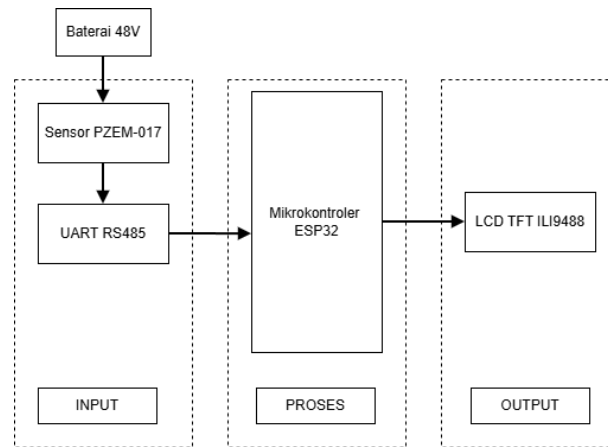


Gambar 1. Flowchart tahap penelitian

Gambar 1 merupakan alur tahap penelitian. Studi literatur dilakukan untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian terdahulu, menemukan research gap, serta menentukan metode, teknologi, dan parameter yang akan digunakan dalam penelitian. Tahap ini menjadi dasar dalam penyusunan rancangan penelitian[6]. Perancangan software dan hardware Tahap ini bertujuan merancang sistem berdasarkan kebutuhan yang diperoleh dari studi literatur. Perancangan meliputi arsitektur perangkat keras, algoritma perangkat lunak, integrasi sensor, mikrokontroler, maupun antarmuka sistem sehingga mampu memenuhi tujuan penelitian[7]. Pengujian alat dilakukan untuk memverifikasi bahwa sistem bekerja sesuai spesifikasi. Pengujian meliputi pengujian fungsi setiap komponen, integrasi sistem, akurasi, stabilitas, dan reliabilitas alat sebelum digunakan dalam eksperimen. Tahap ini penting untuk memastikan validitas data penelitian[6]. Apabila hasil pengujian menunjukkan ketidaksesuaian terhadap spesifikasi, dilakukan identifikasi penyebab kegagalan melalui analisis perangkat keras maupun perangkat lunak. Hasil identifikasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan desain sehingga proses bersifat iteratif[8]. Berdasarkan hasil identifikasi masalah, dilakukan modifikasi pada software maupun hardware hingga sistem memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Pendekatan iteratif merupakan karakteristik utama penelitian rekayasa (engineering research)[8]. Setelah alat dinyatakan valid dan berfungsi dengan baik, dilakukan pengambilan data sesuai prosedur eksperimen. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk menjawab tujuan penelitian[9]. Tahap akhir berupa analisis hasil pengujian, pembahasan terhadap teori dan penelitian sebelumnya, penarikan kesimpulan, serta penyusunan laporan penelitian[6].

2.2 Perancangan hardware

Pada tahap ini, perancangan hardware diawali dengan menentukan prinsip kerja alat sebagai dasar dalam penyusunan sistem secara keseluruhan[10]. Diagram blok perancangan hardware merupakan gambaran umum mengenai hubungan dan alur kerja antara komponen yang digunakan dalam sistem.

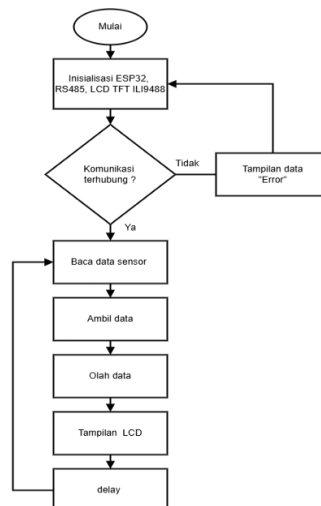


Gambar 2. Diagram blok perancangan hardware

Gambar 2 menjelaskan sistem monitoring baterai yang terdiri atas tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Ketiga bagian tersebut dirancang untuk melakukan pemantauan parameter kelistrikan pada baterai 48 V menggunakan sensor PZEM-017 sebagai perangkat akuisisi data, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, dan LCD TFT ILI9488 sebagai media tampilan hasil pengukuran.

2.3 Perancangan software

Perancangan software merupakan proses penerjemahan kebutuhan perangkat lunak menjadi representasi atau rancangan teknis yang menjadi dasar dalam pembangunan perangkat lunak, yang mencakup arsitektur, komponen, antarmuka, serta alur algoritma yang akan diimplementasikan pada tahap pengkodean[11].



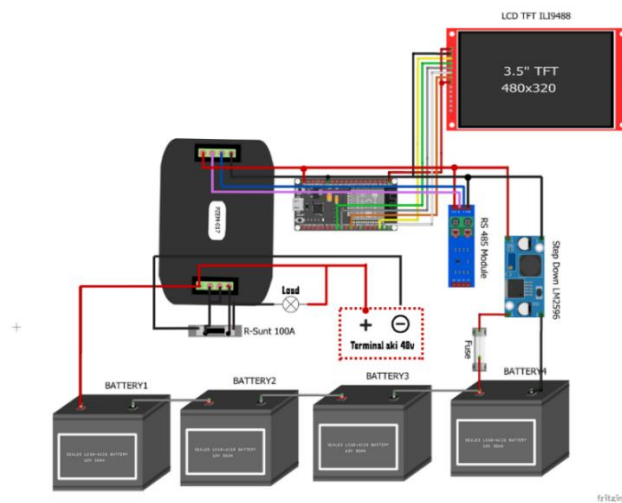
Gambar3. Flochart perancangan software

Gambar 3. merupakan *flowchart* perancangan *software* yang menjelaskan alur kerja program pada mikrokontroler ESP32 dalam melakukan proses monitoring pengisian serta penggunaan baterai secara real-time. Proses diawali dengan tahap inisialisasi seluruh perangkat yang digunakan, yaitu ESP32, komunikasi RS485, dan LCD TFT ILI9488. Tahap ini bertujuan untuk memastikan seluruh perangkat siap digunakan sebelum sistem menjalankan proses utama. Setelah proses inisialisasi selesai, sistem akan melakukan pemeriksaan koneksi komunikasi. Pada tahap ini dilakukan pengecekan apakah komunikasi RS485 telah terhubung

dengan baik. Apabila komunikasi tidak terhubung, sistem akan menampilkan pesan "Error" pada LCD sebagai indikator adanya gangguan komunikasi. Selanjutnya, sistem akan kembali ke proses inisialisasi dan melakukan pengecekan ulang hingga komunikasi berhasil terhubung. Apabila komunikasi berhasil terhubung, sistem akan melanjutkan ke proses pembacaan data sensor. Data yang diperoleh dari sensor kemudian diambil (akuisisi data) untuk diproses lebih lanjut. Tahap berikutnya adalah pengolahan data, yaitu mengubah data mentah hasil pembacaan sensor menjadi informasi yang dapat ditampilkan dan dianalisis sesuai kebutuhan sistem. Hasil pengolahan data kemudian ditampilkan pada LCD TFT ILI9488 secara real-time. Informasi yang ditampilkan meliputi nilai tegangan, arus, daya, dan energi, setelah data ditampilkan, program menjalankan fungsi delay dalam interval waktu tertentu sebelum kembali melakukan pembacaan data dari sensor. Proses ini berlangsung secara berulang (*looping*).

2.4 Wiring diagram

Pada penelitian ini, pembuatan wiring diagram dilakukan menggunakan perangkat lunak Fritzing. Melalui penggunaan Fritzing, representasi grafis yang menunjukkan hubungan antar komponen serta jalur pengkabelan pada suatu sistem. Diagram ini dibuat untuk memastikan proses penyambungan kabel dan penempatan setiap komponen dilakukan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan, sehingga meminimalkan kesalahan pemasangan selama proses perakitan.



Gambar 4. Wiring diagram

2.5 Analisis Data

Pengujian keakuratan sensor dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran sensor terhadap nilai yang diperoleh dari alat ukur standar. Pengujian ini bertujuan memverifikasi bahwa sensor mampu memberikan data yang valid sehingga layak digunakan sebagai perangkat monitoring. Evaluasi tingkat akurasi perangkat dilakukan dengan menghitung persentase kesalahan hasil pengukuran menggunakan metode *Absolute Percentage Error* (APE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Perhitungan tersebut mengacu pada persamaan berikut[12].

$$APE = \left| \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Multimeter}}{\text{Nilai Multimeter}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Nilai hasil monitoring selanjutnya dianalisis dengan menghitung tingkat kesalahan menggunakan metode APE sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1). Nilai APE yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung MAPE berdasarkan Persamaan (2). Nilai MAPE merepresentasikan rata-rata persentase kesalahan yang diperoleh dari keseluruhan nilai APE terhadap jumlah data hasil pengukuran, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem monitoring[12].

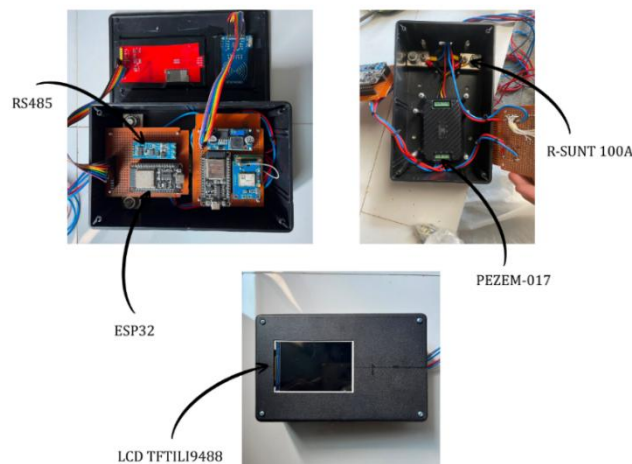
$$MAPE = \frac{\sum APE}{total\ data} \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian bab ini membahas hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring pengisian dan penggunaan energi listrik berbasis ESP32 menggunakan sensor PZEM-017. Pembahasan dilakukan dengan menganalisis data hasil pengujian guna mengetahui tingkat keberhasilan sistem. Hasil tersebut kemudian diinterpretasikan, dibandingkan dengan tujuan penelitian, dan dijelaskan berdasarkan teori maupun penelitian sebelumnya[13].

3.1. Hasil perancangan alat

Hasil perancangan sistem monitoring pengisian dan penggunaan baterai pada sepeda listrik uinfly berbasis ESP32 yang memanfaatkan sensor PZEM-017 dengan komunikasi UART RS485 dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



3.2. Pengujian mode kecepatan sepeda listrik

Sebelum dilakukan pengujian sensor PZEM-017, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap mode kecepatan sepeda listrik Uwinfly D65. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan maksimum pada masing-masing mode berkendara sehingga kondisi pengujian sensor memiliki acuan yang jelas. Pengujian dilakukan pada jalan datar dengan kondisi baterai penuh dan satu orang pengendara.

Tabel 1: Pengujian kecepatan maksimum

Mode	Kecepatan maksimum hasil pengujian
Speed 1	15 km/jam
Speed 2	28 km/jam
Speed 3	39 km/jam

Berdasarkan hasil pengujian pada jalan datar, sepeda listrik Uwinfly D65 mencapai kecepatan maksimum sekitar 39 km/jam, lebih rendah dibandingkan spesifikasi pabrikan yang

Ahmad Syaumi Fittaqi (Rancang Bangun Sistem Monitoring Parameter Penggunaan Baterai Sepeda Listrik Uwinfly Berbasis ESP32 Menggunakan Sensor PZEM-017 dan Analisis APE dan Mape)

menyebutkan kecepatan maksimum sekitar 45 km/jam. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi baterai, berat pengendara, kondisi jalan, tekanan ban, serta faktor lingkungan seperti hambatan angin. Oleh karena itu, data hasil pengujian digunakan sebagai acuan dalam penelitian karena merepresentasikan kondisi operasi aktual sistem yang diuji.

3.3. Pengujian sensor PZEM-017 pada sepeda listrik Uinfly D65

Pada tahap ini, dilakukan pengujian sensor yang di gunakan pada sistem. Pengujian sensor PZEM-017 dilakukan untuk membaca parameter tegangan, arus dan daya, serta energi, hasil pengujian ditampilkan secara real-time melalui LCD TFT ILI9488 dan dibandingkan dengan alat ukur standar multimeter digital.

Sebelum dilakukan pengukuran menggunakan sensor PZEM-017 DC terlebih dahulu dilakukan kalibrasi sensor untuk menyelaraskan nilai sensor dengan setandar refrensi alat ukur, menggunakan persamaan[14].

$$Error (\%) = \frac{X_{sensor} - X_{ref}}{X_{ref}} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan:

$Error$ = Persentase kesalahan pengukuran (%)

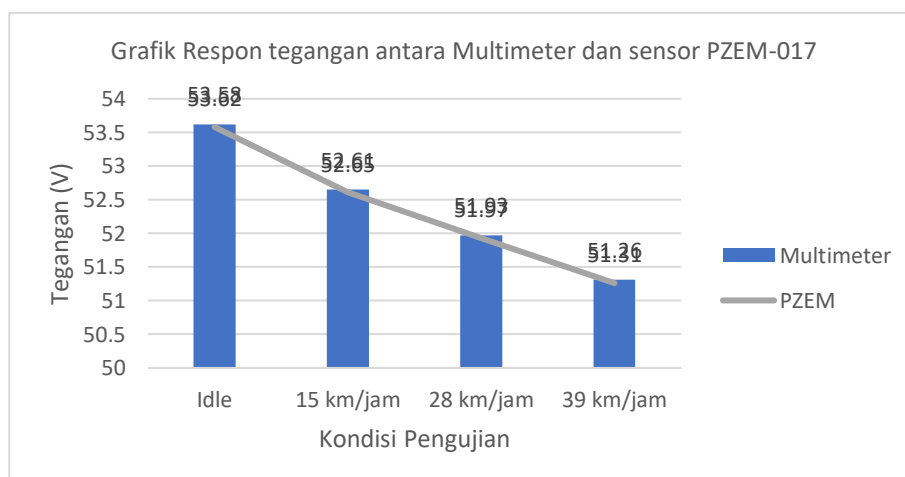
X_{sensor} = Nilai hasil pengukuran sensor

X_{ref} = Nilai hasil pengukuran alat ukur refrensi

Tabel 2: Pengujian sensor pada sepeda listrik Uinfly D65

No	Kondisi Pengujian	Tegangan Multimeter (V)	Tegangan PZEM (V)	Arus Clamp Meter (A)	Arus PZEM (A)	Daya Referensi (W)	Daya PZEM (W)	Energi PZEM(Wh)
1.	Kontak ON (idle)	53,62	53,58	0,24	0,25	12,9	13,4	0,5
2.	Jalan + 15 km/jam	52,65	52,61	5,00	5,02	262,7	263,9	4,02
3.	Jalan + 28 km/jam	51,97	51,93	9,32	9,28	484,3	481,8	9,51
4.	Jalan + 39 km/jam	51,31	51,26	11,47	11,42	588,6	585,2	15,96

Hasil perbandingan pengujian respon tegangan pengukuran multimeter dan PZEM di tunjukkan pada gambar 5:

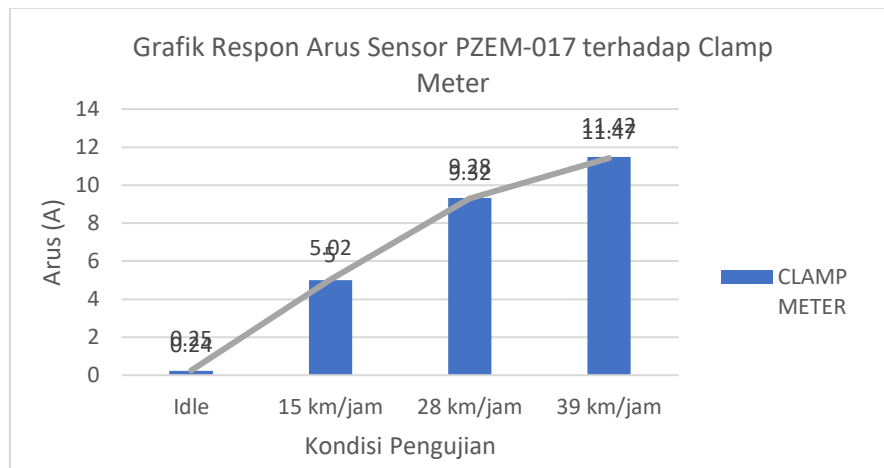


Gambar 5: Grafik respon pengukuran antara multimeter dan sensor PZEM

Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa nilai tegangan yang diukur oleh sensor PZEM-017 memiliki perbedaan yang sangat kecil dibandingkan multimeter. Pada kondisi kontak ON

(idle), tegangan yang terbaca oleh multimeter sebesar 53,62 V, sedangkan sensor PZEM-017 menunjukkan 53,58 V. Ketika kendaraan dijalankan pada kecepatan 15 km/jam, tegangan turun menjadi 52,65 V pada multimeter dan 52,61 V pada sensor. Selanjutnya pada kecepatan 28 km/jam, tegangan tercatat sebesar 51,97 V dan 51,93 V, sedangkan pada kecepatan 39 km/jam menjadi 51,31 V dan 51,26 V.

Hasil perbandingan pengujian respon tegangan pengukuran multimeter dan PZEM di tunjukkan pada gambar 6:



Gambar 6: Grafik respons pengukuran antara clamp meter dan sensor PZEM

Berdasarkan Gambar 6, nilai arus yang terbaca oleh sensor PZEM-017 dan clamp meter mengalami peningkatan seiring bertambahnya kecepatan kendaraan. Pada kondisi idle, sensor PZEM-017 menunjukkan nilai arus sebesar 0,25 A, sedangkan clamp meter membaca 0,24 A. Pada kecepatan 15 km/jam, pembacaan sensor sebesar 5,02 A, sementara clamp meter menunjukkan 5,00 A. Selanjutnya pada kecepatan 28 km/jam, sensor membaca 9,28 A dan clamp meter 9,32 A. Pada kecepatan 39 km/jam, sensor menunjukkan nilai 11,42 A, sedangkan clamp meter membaca 11,47 A.

3.4. Pengujian pada beban sistem penerangan pada sepeda listrik uwinfly D65

Pengujian beban dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor PZEM-017 dalam mengukur parameter kelistrikan pada sistem penerangan sepeda listrik Uwinfly D65. Beban yang diuji meliputi lampu depan (headlamp), lampu sein kiri, lampu sein kanan, lampu rem belakang (stoplamp), serta kombinasi beberapa beban. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PZEM-017 terhadap alat ukur referensi berupa multimeter digital dan clamp meter, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi sensor untuk menyelaraskan nilai sensor dengan setandar refrensi alat ukur, menggunakan persamaan (3).

Sebelum dilakukan pengujian, sepeda listrik dalam kondisi berhenti dengan sistem utama aktif. Sensor PZEM-017 dipasang pada jalur suplai baterai untuk membaca konsumsi daya dari beban penerangan. Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan multimeter, sedangkan pengukuran arus dilakukan menggunakan clamp meter sebagai pembanding terhadap hasil pembacaan sensor.

Berdasarkan hasil observasi, jalur headlamp menggunakan kabel berpenampang 0,5 mm², sedangkan jalur lampu sein dan stoplamp menggunakan kabel sekitar 0,3 mm². Ukuran kabel tersebut menunjukkan bahwa sistem penerangan bekerja dengan arus yang relatif kecil

sehingga sesuai dengan karakteristik lampu LED pada sepeda listrik. Oleh karena itu, arus kerja headlamp lebih besar dibandingkan lampu sein maupun stoplamp.

Tabel 3: Hasil Pengujian Beban Sistem Penerangan Sepeda Listrik Uwinfly D65

No	Kondisi Pengujian	Tegangan Multimeter (V)	Tegangan PZEM (V)	Arus Clamp Meter (A)	Arus PZEM (A)	Daya Referensi (W)	Daya PZEM (W)	Energi PZEM (Wh)
1.	Headlamp dan stoplamp ON	53,52	53,48	0,32	0,33	17,1	17,6	0,72
2.	Lampu sein kiri ON	53,60	53,56	0,05	0,05	2,68	2,8	0,12
3.	Lampu sein kanan ON	53,58	53,55	0,05	0,05	2,79	2,67	0,12
4.	Semua lampu ON	53,47	53,43	0,42	0,41	22,00	21,90	19,8

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, beban sistem penerangan pada sepeda listrik Uwinfly D65, sensor PZEM-017 mampu mengukur parameter tegangan, arus, daya, dan energi dengan hasil yang sangat mendekati alat ukur referensi. Pada seluruh kondisi pengujian, selisih pengukuran tegangan hanya berkisar 0,03–0,04 V, sedangkan selisih pengukuran arus berkisar 0,01 A atau bahkan sama pada beberapa kondisi. Daya yang terukur juga menunjukkan nilai yang hampir identik dengan daya referensi, sehingga menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat ketelitian yang baik.

Konsumsi daya terbesar terjadi ketika seluruh sistem penerangan diaktifkan, yaitu sekitar 22,00 W, sedangkan konsumsi daya terkecil terjadi pada pengujian lampu sein kiri dan kanan, yaitu sekitar 2,68–2,79 W. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah beban akan meningkatkan konsumsi arus, daya, dan energi listrik pada sistem penerangan.

3.5. Perhitungan presentase error pembacaan sensor

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian hasil pengukuran sensor PZEM terhadap alat ukur standar, yaitu multimeter sebagai referensi pengukuran tegangan, clamp meter sebagai referensi pengukuran arus, serta perhitungan daya referensi. Evaluasi akurasi dilakukan dengan menghitung nilai APE untuk setiap data pengujian, kemudian dihitung nilai MAPE sebagai indikator rata-rata persentase kesalahan pengukuran.

Berdasarkan data pengujian pada empat kondisi operasi kendaraan listrik, diperoleh hasil perhitungan APE & MAPE sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4: Presentase error sensor

No	Kondisi Pengujian	Error tegangan (%)	Error Arus (%)	Error Daya (%)
1.	Kontak ON (idle)	0,075	4,167	3,87
2.	Jalan + 15 km/jam	0,076	0,400	0,457
3.	Jalan + 28 km/jam	0,077	0,429	0,516
4.	Jalan + 39 km/jam	0,097	0,436	0,578
MAPE		0,081	1,358	1,357

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM memiliki tingkat akurasi yang sangat baik pada pengukuran tegangan dengan nilai MAPE sebesar 0,081%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor hampir identik dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter, dengan selisih rata-rata kurang dari 0,1%.

Pada pengukuran arus diperoleh nilai MAPE sebesar 1,358%. Persentase kesalahan terbesar terjadi pada kondisi kontak ON (idle) dengan nilai APE sebesar 4,167%. Hal ini disebabkan oleh besarnya arus yang diukur hanya sekitar 0,24 A, sehingga selisih pengukuran sebesar 0,01 A memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap persentase kesalahan. Sebaliknya, pada kondisi kendaraan berjalan dengan arus yang lebih besar, nilai error menurun menjadi sekitar 0,40–0,44%, menunjukkan bahwa sensor memiliki performa yang lebih stabil pada rentang arus menengah hingga tinggi.

Hasil pengujian daya menunjukkan nilai MAPE sebesar 1,357%. Sama seperti pengukuran arus, persentase kesalahan terbesar terjadi pada kondisi idle sebesar 3,876%, sedangkan pada kondisi kendaraan berjalan nilai error berkisar antara 0,457% hingga 0,578%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mengukur daya listrik dengan tingkat ketelitian yang baik. Perbedaan pembacaan daya dipengaruhi oleh akumulasi kesalahan pada pengukuran tegangan dan arus, mengingat nilai daya merupakan hasil perkalian kedua parameter tersebut.

Secara keseluruhan, seluruh parameter yang diuji memiliki nilai MAPE di bawah 2%, bahkan pengukuran tegangan memiliki nilai error kurang dari 0,1%. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai MAPE pengukuran tegangan sebesar 0,081%, arus sebesar 1,358%, dan daya sebesar 1,357%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Pambudi [15], Yang melaporkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat kesesuaian pengukuran sebesar 99,3% terhadap multimeter, sehingga layak digunakan sebagai perangkat monitoring sistem kelistrikan. Jika dibandingkan dengan penelitian Ramadhani dan Nursusanto [16], sistem yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki performa yang lebih baik. Penelitian tersebut melaporkan nilai error terbesar sebesar 3% pada pengukuran arus, sedangkan penelitian ini memperoleh nilai MAPE arus hanya sebesar 1,358%, sehingga menunjukkan peningkatan akurasi pengukuran sensor PZEM-017.

Pada pengujian pembacaan error sistem penerangan diperoleh hasil perhitungan APE & MAPE ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5: Persentase Error Pembacaan Sensor PZEM-017 pada Beban Penerangan

No	Kondisi Pengujian	Error tegangan (%)	Error Arus (%)	Error Daya (%)
1.	Headlamp dan stoplamp ON	0,075	4,167	2,924
2.	Lampu sein kiri ON	0,075	0,00	4,478
3.	Lampu sein kanan ON	0,056	0,00	4,301
4.	Semua lampu ON	0,075	2,381	0,455
MAPE		0,070	1,77	3,039

Berdasarkan Tabel 5, hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat kesalahan yang rendah pada pengukuran tegangan dengan nilai MAPE sebesar 0,070%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pembacaan tegangan oleh sensor hampir sama dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter, dengan rata-rata selisih kurang dari 0,1%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam melakukan pengukuran tegangan pada sistem kelistrikan sepeda listrik.

Pada pengukuran arus, diperoleh nilai MAPE sebesar 1,377%. Error arus terbesar terjadi pada kondisi headlamp dan stoplamp ON dengan nilai sebesar 3,125%, sedangkan pada kondisi lampu sein kiri dan kanan nilai error sebesar 0% karena hasil pembacaan clamp meter dan PZEM-017 memiliki nilai yang sama setelah pembulatan. Perbedaan kecil yang terjadi pada pengukuran arus disebabkan oleh karakteristik pengukuran beban rendah, dimana perubahan arus dalam skala kecil dapat mempengaruhi hasil pembacaan.

Pada pengukuran daya diperoleh nilai MAPE sebesar 3,039%. Nilai error daya terbesar terjadi pada kondisi lampu sein kiri ON yaitu sebesar 4,478%, sedangkan error terkecil terjadi pada kondisi semua lampu ON yaitu sebesar 0,455%. Besarnya nilai error pada beban lampu sein bukan disebabkan oleh kesalahan pembacaan sensor yang besar, tetapi dipengaruhi oleh nilai daya beban yang relatif kecil. Pada kondisi lampu sein, perbedaan daya hanya sekitar 0,12 W, namun karena nilai daya referensi hanya sekitar 2,7 W, maka perubahan kecil tersebut menghasilkan persentase error yang lebih besar.

Secara keseluruhan, nilai MAPE yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki kemampuan pengukuran yang baik. Nilai error tegangan sebesar 0,070%, error arus sebesar 1,377%, dan error daya sebesar 3,039% masih berada pada tingkat kesalahan yang rendah, sehingga sensor PZEM-017 dapat digunakan sebagai perangkat monitoring konsumsi energi pada sistem penerangan sepeda listrik Uwinfly D65.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring parameter menggunakan sensor PZEM-017 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu melakukan pemantauan parameter tegangan, arus, daya, dan energi secara real-time sehingga dapat digunakan untuk memonitor kondisi kelistrikan pada kendaraan listrik.

Hasil pengujian akurasi menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap alat ukur standar. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Absolute Percentage Error (APE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE), diperoleh nilai MAPE sebesar 0,081% untuk pengukuran tegangan, 1,359% untuk pengukuran arus, dan 1,360% untuk pengukuran daya. Nilai kesalahan yang seluruhnya berada di bawah 2% menunjukkan bahwa sistem monitoring memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dan layak digunakan sebagai perangkat monitoring parameter kelistrikan.

Sebagai pengembangan pada penelitian selanjutnya, sistem dapat dilengkapi dengan fitur penyimpanan data (data logging) berbasis cloud, notifikasi otomatis ketika parameter kelistrikan berada di luar batas aman, serta analisis kondisi baterai (State of Charge dan State of Health) untuk meningkatkan fungsi pemantauan. Selain itu, sistem dapat dikembangkan dengan integrasi aplikasi berbasis Internet of Things (IoT) sehingga monitoring dapat dilakukan dari jarak jauh melalui perangkat bergerak, sehingga implementasinya menjadi lebih luas pada kendaraan listrik maupun sistem kelistrikan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. N. A. Saputra and I. Riyanto, "Rancang Bangun Sepeda Portable Charging Station 12V 6W," *MAESTRO*, vol. 3, no. 2, pp. 384–393, 2020.

- [2] R. Artayuda, R. Candra, H. Rasjid, and Y. Chalri, "JIKA | 184 INFORMASI PENGISIAN BATERAI KENDARAAN SEPEDA MOTOR LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," 2025.
- [3] J. K. Sarib, "Sistem Monitoring dan Pengisian Daya Baterai Pada Sepeda Motor Listrik Secara Adaptive," 2021.
- [4] D. A. Fadilla, M. Adli, and J. Iriani, "RANCANG BANGUN SISTEM PENGISIAN DAN MONITORING BATERAI 48 VOLT DENGAN SUMBER PLN," *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, vol. 5, no. 1, pp. 590–598, 2024.
- [5] M. Waruwu, "Metode penelitian dan pengembangan (R&D): konsep, jenis, tahapan dan kelebihan," *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, vol. 9, no. 2, pp. 1220–1230, 2024.
- [6] D. Escudero-Mancebo, N. Fernández-Villalobos, Ó. Martín-Llorente, and A. Martínez-Monés, "Research methods in engineering design: a synthesis of recent studies using a systematic literature review," *Res. Eng. Des.*, vol. 34, no. 2, pp. 221–256, Apr. 2023, doi: 10.1007/s00163-022-00406-y.
- [7] K. T. Ulrich, S. D. Eppinger, and M. C. Yang, *Product design and development*, vol. 4. McGraw-Hill higher education Boston, 2008.
- [8] J. Menold, T. W. Simpson, and K. Jablokow, "The prototype for X framework: exploring the effects of a structured prototyping framework on functional prototypes," *Res. Eng. Des.*, vol. 30, no. 2, pp. 187–201, 2019.
- [9] D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*. John wiley & sons, 2017.
- [10] G. M. Bonnema, "A System Design Reference Model–Based on Design Processes and Designers' Experience," *Journal of Integrated Design and Process Science*, vol. 22, no. 1, pp. 39–60, 2019.
- [11] R. S. Pressman, *Software engineering: a practitioner's approach*. Palgrave macmillan, 2005.
- [12] M. Fajrud Dluha, L. Rakhmawati, F. Baskoro, and S. I. Haryudo, "Jurnal Teknik Elektro: Electronic Control, Telecommunication, Computer Information and Power System Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Untuk Catudaya Pompa Air Pada Sistem Hidroponik Nft (Nutrient Film Technique) Berbasis IoT Article History".
- [13] A. Ghasemi, Z. Bahadoran, P. Mirmiran, F. Hosseinpanah, N. Shiva, and A. Zadeh-Vakili, "The principles of biomedical scientific writing: Discussion," *Int. J. Endocrinol. Metab.*, vol. 17, no. 3, p. e95415, 2019.
- [14] M. F. Majid and N. Nadhiroh, "Pengujian Kinerja Sensor PZEM-004 & PZEM-017 Pada Sistem PLTS," in *Seminar Nasional Teknik Elektro*, 2024, pp. 88–92.
- [15] M. Fatakhul Ramadhani and U. Nursusanto, "DESIGN AND DEVELOPMENT OF A TELEMETRY SYSTEM FOR MONITORING THE BATTERY OF THE PRAMBANAN EXPRESS DIESEL RAILCAR," 2025. [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/v3/jaei>