

Implementasi Sistem *Monitoring* Dan Pencatatan Konsumsi Listrik Berbasis IoT Dengan Integrasi Web Server Dan *Spreadsheet*

Catur Pamungkas^{1*}, Jarot Dian Susatyono², Nur Rokhman³

¹ Universitas Sains & Teknologi Komputer

Jl.Siliwangi No.359, Semarang, telp: 08888555597, e-mail: ctrpmngks400@gmail.com

² Universitas Sains & Teknologi Komputer

Jl.Siliwangi No.359, Semarang, telp: 08888555597, e-mail: jarot@stekom.ac.id

³ Universitas Sains & Teknologi Komputer

Jl.Siliwangi No.359, Semarang, telp: 08888555597, e-mail: nurrohman@stekom.ac.id

ARTICLE INFO

History of the article:

Received 15 Juni 2026

Received in revised form 18 Juli 2026

Accepted 21 Juli 2026

Available online 25 Juli 2026

Keywords:

Internet of Things (IoT); Energy Monitoring System; ESP32; PZEM-004T; Spreadsheet

* Correspondence:

Telepon :

-

E-mail:

Ctrpmngks400@gmail.com

ABSTRACT

Penggunaan listrik yang tidak terkontrol bisa menyebabkan pemborosan energi dan membuat biaya operasional semakin mahal, terutama di lingkungan industri yang memiliki banyak panel distribusi listrik. Meter listrik konvensional yang hanya menampilkan data secara langsung dan tidak menyimpan catatan penggunaan listrik sebelumnya membuat pengawasan dan pengevaluasian lebih sulit dilakukan, sehingga analisis penggunaan energi dan deteksi kemungkinan pemborosan menjadi kurang efektif. Penelitian ini bertujuan membuat sistem pemantauan penggunaan listrik yang menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)*, dengan memakai mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, dan relay otomatis untuk mengontrol aliran listrik. Sistem yang dibuat bisa mengawasi beberapa parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan penggunaan energi secara langsung melalui jaringan *Wi-Fi*. Selain itu, data penggunaan listrik secara otomatis disimpan di *Google Spreadsheet* agar bisa digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi efisiensi energi. Sistem yang direncanakan diharapkan bisa meningkatkan kemampuan dalam mengawasi listrik, memudahkan pengelolaan energi, serta membantu mengurangi penggunaan energi yang berlebihan dan biaya operasional dengan memanfaatkan listrik secara lebih baik.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang penting untuk mendukung berbagai kegiatan di rumah tangga, pendidikan, serta industri. Penambahan penggunaan listrik yang tidak diimbangi

dengan sistem pengawasan yang memadai bisa menyebabkan terjadinya pemborosan energi dan peningkatan biaya operasional. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem *monitoring* yang mampu menyediakan informasi penggunaan energi secara *real-time* sehingga proses pengelolaan energi dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien [1].

Pada praktiknya, penggunaan energi listrik masih banyak dipantau menggunakan alat ukur konvensional yang hanya menampilkan parameter kelistrikan secara lokal tanpa menyediakan pencatatan data historis. Kondisi tersebut menyebabkan proses evaluasi konsumsi energi menjadi kurang optimal karena pengguna tidak dapat melakukan analisis pola penggunaan energi secara berkelanjutan maupun mengidentifikasi potensi pemborosan energi secara cepat. Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses *monitoring* dilakukan secara *real-time* dengan dukungan komunikasi data melalui jaringan internet sehingga informasi penggunaan energi dapat diakses dengan lebih mudah dan dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan energi [2], [3]. Penelitian mengenai *monitoring* energi listrik berbasis IoT telah banyak dikembangkan menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T dengan berbagai platform *monitoring* seperti *Blynk* [4].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT menggunakan *mikrokontroler* ESP32 dan sensor PZEM-004T. Surya dkk. [5] mengembangkan sistem *monitoring* beban listrik berbasis IoT menggunakan *dashboard* *Adafruit* untuk menampilkan parameter kelistrikan secara *real-time*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi IoT mampu meningkatkan efektivitas pemantauan energi listrik, namun sistem masih bergantung pada platform *cloud* pihak ketiga dan belum menyediakan media penyimpanan data historis yang fleksibel untuk analisis jangka panjang.

Penelitian yang dilakukan oleh Azizi dan Arinal [6] mengembangkan sistem *monitoring* daya listrik berbasis aplikasi *mobile* sehingga pengguna dapat memantau konsumsi energi dari jarak jauh. Sementara itu, Yuniarto dkk. [7] mengembangkan sistem *monitoring* dan kontrol energi listrik berbasis ESP32 yang telah dilengkapi dengan fitur pengendalian *relay*. Kedua penelitian tersebut berhasil meningkatkan fungsi *monitoring* dan kontrol sistem kelistrikan, namun belum mengintegrasikan *dashboard* web lokal, penyimpanan data historis otomatis, serta pengelolaan data yang mudah diakses dalam satu sistem yang terpadu.

Penelitian lain juga mengembangkan *smart electrical* meter berbasis ESP32 dan sensor PZEM-004T yang mampu melakukan *monitoring* energi listrik secara *real-time*, serta pengendalian beban listrik melalui *Internet of Things* [8].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih ada celah penelitian yang belum terjangkau dan perlu dikembangkan lebih lanjut. Sebagian besar penelitian sejauh ini lebih fokus pada pemantauan parameter listrik secara langsung atau pengelolaan beban listrik, namun belum menggabungkan server web lokal berbasis ESP32 dengan penyimpanan data historis otomatis melalui *Google Spreadsheet* dalam satu sistem pemantauan yang sama. Akibatnya, pengguna masih merasa terbatas dalam menganalisis penggunaan energi secara berkelanjutan karena data sebelumnya belum tersimpan secara otomatis di tempat yang mudah diakses.

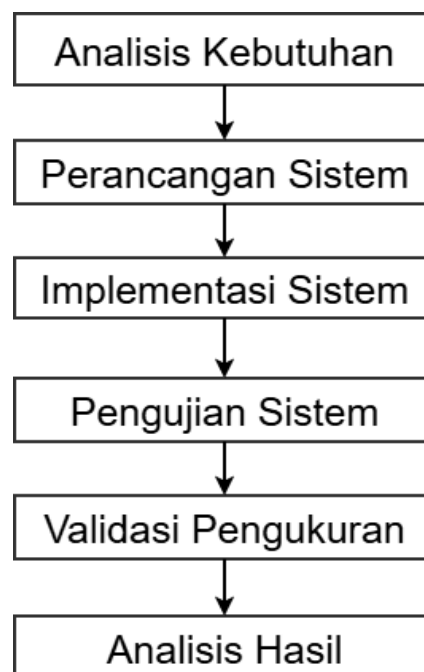
Berdasarkan *research gap* tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* serta pencatatan konsumsi energi listrik berbasis *Internet of Things* menggunakan *mikrokontroler* ESP32 dan sensor PZEM-004T. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan parameter kelistrikan secara *real-time* melalui web server, menyimpan data historis secara otomatis ke *Google Spreadsheet*, serta menyediakan fitur pengendalian *relay* dalam satu sistem yang terintegrasi. Dengan demikian, sistem yang diusulkan diharapkan dapat meningkatkan efektivitas *monitoring* energi listrik, mempermudah analisis konsumsi energi berdasarkan data historis, serta menjadi solusi yang praktis dan mudah diterapkan pada lingkungan industri maupun usaha skala kecil dan menengah.

Penelitian ini memberikan inovasi dengan membangun sistem pemantauan penggunaan listrik yang menggunakan *Internet of Things*. Sistem ini menggabungkan web server lokal yang berjalan di atas ESP32, penyimpanan data historis secara otomatis melalui *Google Spreadsheet*, dan juga menyediakan fitur untuk mengontrol relay dalam satu platform yang terpadu. Integrasi ini memungkinkan pengawasan dilakukan secara langsung dan dalam waktu nyata melalui jaringan lokal tanpa perlu mengandalkan layanan *cloud* berbayar, sementara semua data yang diukur secara otomatis disimpan untuk membantu menganalisis data sebelumnya, mengevaluasi penggunaan energi, dan membuat laporan penggunaan listrik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *System Design and Experimental Testing*, yaitu metode penelitian yang berfokus pada proses perancangan, implementasi, integrasi, dan evaluasi kinerja sistem yang dikembangkan. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian rekayasa karena mampu menggambarkan tahapan pengembangan sistem secara sistematis mulai dari identifikasi kebutuhan hingga pengujian performa sistem yang telah dibangun [9].

Penelitian ini dilakukan di PT Mas Arya Indonesia dengan tujuan untuk membangun sistem pemantauan penggunaan listrik berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T. Sistem ini dibuat agar bisa memantau parameter listrik secara langsung, menyimpan catatan data secara otomatis ke *Google Spreadsheet*, dan mengatur relay melalui antarmuka web server. Setelah sistem selesai dikembangkan, dilakukan beberapa pengujian untuk mengecek kemampuan sistem dalam melakukan pemantauan, mengirimkan data, dan memvalidasi hasil pengukuran terhadap alat ukur yang sudah diakui. Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



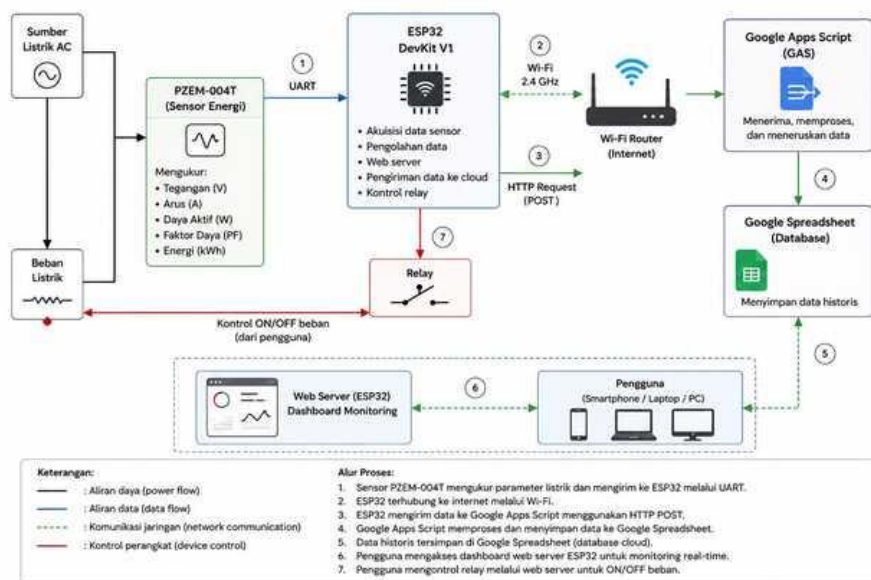
Gambar 1. Kerangka metode penelitian *system design and experimental testing*

1. Analisis Kebutuhan

Tahap pertama dilakukan untuk mengenali kebutuhan sistem dengan cara mengamati langsung di PT Mas Arya Indonesia dan membaca informasi dari literatur mengenai sistem pemantauan energi listrik yang menggunakan *Internet of Things*. Observasi dilakukan untuk memahami kondisi sistem monitoring yang sudah digunakan, sifat beban listrik yang ada, serta kebutuhan pengguna terhadap sistem monitoring yang dapat mencatat data historis secara otomatis. Studi literatur dilakukan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi perangkat keras, perangkat lunak, serta metode komunikasi data yang akan digunakan pada sistem. Pendekatan observasi dan studi literatur banyak digunakan dalam penelitian sistem *monitoring* energi listrik karena mampu menghasilkan spesifikasi sistem yang sesuai dengan kebutuhan implementasi [11], [12].

2. Perancangan Sistem

Tahap pembuatan sistem mencakup desain komponen fisik (hardware) dan program (software) yang saling bekerja sama. Arsitektur sistem yang telah dibuat ditampilkan pada Gambar 2. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai pusat utama yang bertugas mengambil data dari sensor, memproses data tersebut, menjalankan server web, mengirimkan hasilnya ke Google Spreadsheet, dan mengatur relay. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur berbagai parameter listrik seperti tegangan dalam volt, arus dalam ampere, daya aktif dalam watt, faktor daya, dan jumlah energi listrik dalam kilowatt jam. Pemilihan ESP32 dan sensor PZEM-004T didasarkan pada kemampuannya dalam melakukan akuisisi data secara *real-time* serta mendukung komunikasi berbasis *Wi-Fi* yang telah banyak diterapkan pada sistem *monitoring* energi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) [13].



Gambar 2. Diagram arsitektur rancangan sistem

Berdasarkan Gambar 2, aliran kerja sistem dimulai ketika sensor PZEM-004T melakukan pengukuran parameter kelistrikan pada beban listrik. Data hasil pengukuran selanjutnya dikirim ke ESP32 melalui komunikasi serial UART agar bisa diproses. Selanjutnya, ESP32 menampilkan data secara langsung melalui server web internal, sehingga pengguna bisa mengawasi kondisi listrik menggunakan smartphone, laptop, atau komputer yang terhubung ke jaringan yang sama.

Implementasi Sistem Monitoring Dan Pencatatan Konsumsi Listrik Berbasis IoT Dengan Integrasi Web Server Dan Spreadsheet (Catur Pamungkas)

Pendekatan ini sesuai dengan konsep *standalone web server* pada ESP32 yang memungkinkan proses monitoring dilakukan secara langsung melalui *web browser* tanpa memerlukan aplikasi tambahan [14].

Selain memantau secara langsung, ESP32 juga terhubung ke jaringan Wi-Fi dan mengirimkan data hasil pengukuran ke *Google Apps Script* melalui metode HTTP POST. *Google Apps Script* bertindak sebagai perantara yang menerima, memproses, dan mengirimkan data ke *Google Spreadsheet* sebagai tempat menyimpan data sejarah. Penyimpanan data historis ini memungkinkan pengguna untuk menganalisis penggunaan energi listrik dalam waktu yang lebih lama dan memudahkan proses mencatat hasil pengukuran. Sistem juga dilengkapi dengan modul relay yang diatur secara langsung oleh ESP32. Melalui antarmuka web server, pengguna bisa mengirim perintah untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik jarak jauh melalui jaringan lokal. Sehingga sistem ini tidak hanya menjadi alat untuk memantau penggunaan listrik, tetapi juga berfungsi sebagai sistem pengendalian beban yang terpadu dalam satu platform berbasis IoT. Perangkat lunak dibuat dengan menggunakan Arduino IDE sebagai alat untuk mengocode mikrokontroler ESP32. Antarmuka web dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman HTML, CSS, dan *JavaScript*, sehingga data parameter listrik bisa ditampilkan secara interaktif melalui layar dashboard. Sensor PZEM-004T diintegrasikan dengan ESP32, *web server*, *Google Apps Script*, *Google Spreadsheet*, dan modul *relay*, sehingga membentuk sistem pemantauan energi listrik yang mampu memantau secara langsung, menyimpan data historis secara otomatis, dan mengatur beban listrik dalam satu sistem yang terpadu.

3. Implementasi Sistem

Tahap implementasi dilakukan dengan mengumpulkan semua komponen sesuai dengan desain yang telah dibuat, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Sensor PZEM-004T terhubung ke ESP32 agar dapat mengambil data parameter kelistrikan secara berkala. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh ESP32 untuk ditampilkan di dashboard web server, dikirim ke *Google Spreadsheet* melalui koneksi *Wi-Fi*, dan digunakan sebagai dasar untuk mengendalikan *relay*.



Gambar 3. Implementasi perangkat sistem *monitoring* energi listrik

Gambar 3 menunjukkan hasil implementasi perangkat keras yang terdiri atas *mikrokontroler* ESP32 *DevKit V1*, modul *relay*, catu daya *Hi-Link 5 VDC*, serta rangkaian pendukung yang dirakit pada papan PCB. Seluruh komponen diintegrasikan menjadi satu modul sehingga memudahkan proses instalasi dan pemeliharaan sistem. Seluruh perangkat nantinya akan ditempatkan di dalam *junction box* agar terlindung dari gangguan lingkungan serta memudahkan proses instalasi pada panel listrik. LCD digunakan untuk menampilkan alamat IP web server

sehingga pengguna dapat mengakses *dashboard monitoring* melalui perangkat komputer maupun *smartphone* yang berada pada jaringan *Wi-Fi* yang sama.

4. Pengujian Sistem

sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT umumnya dilakukan dengan mengevaluasi kemampuan pembacaan parameter listrik, fungsi pengendalian beban, serta komunikasi data antara perangkat dan antarmuka pengguna. Penelitian Adkhar dan Afianti menunjukkan bahwa pengujian sistem mencakup *monitoring* menggunakan sensor PZEM-004T, pengendalian *relay*, serta komunikasi melalui jaringan internet menggunakan Telegram sebagai media antarmuka pengguna [10]

Berdasarkan pendekatan tersebut, pengujian pada penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja seluruh fungsi sistem yang telah dirancang, meliputi pembacaan parameter kelistrikan menggunakan sensor PZEM-004T, komunikasi data antara ESP32 dan dashboard web server, pengiriman data menuju *Google Spreadsheet* melalui jaringan *Wi-Fi*, serta fungsi pengendalian beban menggunakan *relay*.

5. Validasi Pengukuran

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan multimeter digital Zoyi ZT-102A True RMS yang digunakan sebagai alat ukur acuan. Parameter yang dibandingkan mencakup tegangan, arus, faktor daya, daya semu, serta daya aktif. Hasil pengukuran dari kedua alat kemudian dianalisis untuk mengetahui sejauh mana hasilnya sesuai, sehingga bisa digunakan sebagai patokan dalam menilai kinerja sistem monitoring yang telah dikembangkan. Validasi hasil pengukuran dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap alat ukur standar merupakan metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi akurasi sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT [15].

6. Analisis Akhir

Tahap terakhir adalah mengevaluasi hasil pengujian untuk memahami bagaimana performa sistem berjalan secara keseluruhan. Analisis dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu memantau penggunaan listrik secara langsung, apakah data historis berhasil disimpan ke Google Spreadsheet, bagaimana kinerja komunikasi data melalui jaringan *Wi-Fi*, serta seberapa akurat hasil pengukuran dibandingkan dengan alat ukur standar. Hasil dari analisis tersebut digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi apakah sistem yang telah dikembangkan berhasil mencapai tujuan penelitian.

HASIL

1. Alat Yang Sudah Jadi

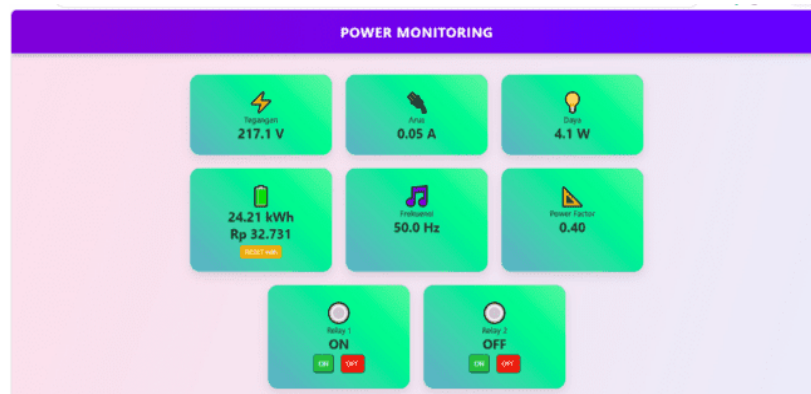
Alat di rangkai di papan PCB dan kemudian dimasukkan ke *junction box* guna menghindari kontak terhadap rangkaian baik dari makhluk hidup atau kotoran yang dapat merusak atau mempengaruhi sistem, Penutup *box* dapat dibuka guna menyambung pasokan listrik sistem dan keluaran listrik itu sendiri, untuk LED indikasi kontak *relay* dan *display* LCD diletakan di penutup *box* dengan konektor yang bisa di lepas pasang menghadap ke user guna melakukan pengecekan IP, dan parameter di lokasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat yang sudah jadi

2. Tampilan Dashboard

Sistem *dashboard monitoring* pada penelitian ini dikembangkan dengan memanfaatkan fitur web server yang terdapat pada *mikrokontroler* ESP32. Penggunaan web server pada ESP32 memungkinkan data hasil pengukuran sensor ditampilkan secara *real-time* melalui browser tanpa memerlukan aplikasi tambahan pada perangkat pengguna. Antarmuka *monitoring* dibangun menggunakan HTML, CSS, dan *JavaScript* yang ditanamkan langsung ke dalam program *mikrokontroler* sehingga proses *monitoring* dan pengendalian dapat dilakukan melalui jaringan secara lebih fleksibel [12]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, *dashboard monitoring* memuat parameter yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor. Untuk parameter energi, nilai yang ditampilkan dikonversi menjadi estimasi biaya listrik dengan asumsi tarif Rp1.352/kWh. Selain itu, *dashboard monitoring* juga menyediakan fitur pengendalian terhadap dua relay yang tersedia.



Gambar 5. Tampilan *dashboard*

3. Penyimpanan Data Di Spreadsheet

Berdasarkan hasil pengujian, sensor PZEM-004T mampu mengukur tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, dan faktor daya secara konsisten. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Yasa dkk. [12] yang menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki kemampuan untuk melakukan *monitoring* parameter kelistrikan secara *real-time* menggunakan ESP32. Namun demikian,

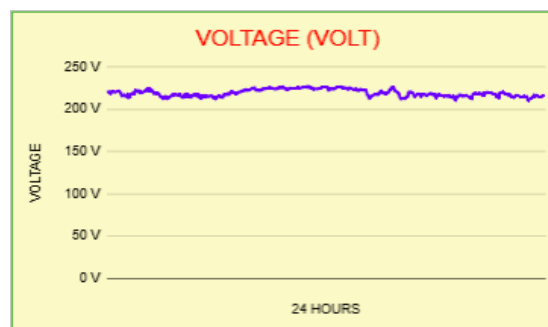
penelitian ini tidak hanya menampilkan hasil pengukuran secara *real-time*, tetapi juga menyimpan seluruh data historis secara otomatis ke *Google Spreadsheet* sehingga memudahkan proses analisis konsumsi energi dalam jangka panjang.

Data hasil pembacaan sensor oleh ESP32 selanjutnya dikirim dan disimpan ke *google spreadsheet* melalui layanan web *apps* yang tersedia pada *google apps script*. Seluruh parameter kelistrikan yang meliputi tegangan, arus, daya, energi, dan *power factor* dikirim secara otomatis oleh ESP32 dengan interval pengiriman setiap 2 menit. Data yang tersimpan pada *google spreadsheet* berfungsi sebagai basis data historis yang dapat diakses untuk keperluan *monitoring* dan analisis lebih lanjut. Selanjutnya, data yang telah terkumpul diolah untuk menampilkan rekaman pengukuran selama 24 jam terakhir, sehingga pengguna dapat mengamati tren perubahan parameter kelistrikan secara periodik. Hasil pengolahan data tersebut ditampilkan pada Tabel 1 sebagai representasi kondisi sistem selama periode pengamatan.

Tabel 1. Data sensor pada *spreadsheet* (24 Hours Data)

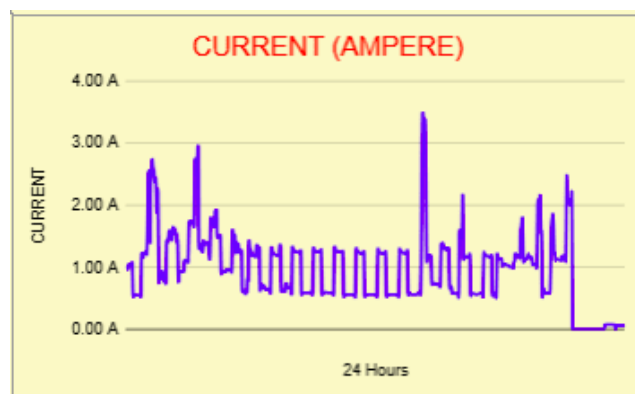
Time	Voltase	Current	Power	Energy	Pf	Biaya
08/05/2026 14:21:10	220.60 V	1.00 A	149.70 WATT	19.52 kw	0.68 pf	Rp26.385
08/05/2026 14:23:10	221.00 V	1.01 A	150.50 WATT	19.52 kw	0.68 pf	Rp26.392
08/05/2026 14:25:11	220.80 V	0.97 A	133.70 WATT	19.53 kw	0.62 pf	Rp26.399
08/05/2026 14:27:10	219.80 V	1.05 A	170.30 WATT	19.53 kw	0.74 pf	Rp26.405
08/05/2026 14:29:10	220.10 V	1.05 A	170.60 WATT	19.54 kw	0.74 pf	Rp26.414

Setelah data pengukuran 24 jam terakhir diperoleh dan tersimpan pada *Google Spreadsheet*, data tersebut selanjutnya diolah dan divisualisasikan dalam bentuk grafik fluktuatif untuk mempermudah proses analisis. Penyajian data dalam bentuk grafik memungkinkan pengguna untuk mengamati pola perubahan setiap parameter kelistrikan secara lebih jelas dari waktu ke waktu. Melalui grafik tersebut, tingkat penggunaan energi listrik selama 24 jam terakhir dapat diketahui, termasuk periode dengan konsumsi energi tinggi maupun rendah. Selain itu, visualisasi data juga membantu dalam mengidentifikasi tren penggunaan energi, mendeteksi anomali, serta mengevaluasi efisiensi pemakaian listrik pada sistem yang dimonitor. Hasil visualisasi data pengukuran selama 24 jam terakhir ditunjukkan pada Gambar 6.



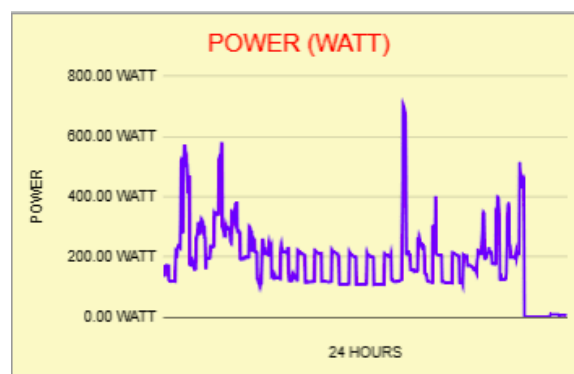
Gambar 6 (a). Grafik fluktuatif voltase

Berdasarkan Gambar 6(a), nilai tegangan yang terukur selama 24 jam terletak antara 219 V hingga 230 V. Grafik menunjukkan bahwa tegangan sistem tetap stabil dengan perubahan yang tidak terlalu besar. Tegangan turun pada beberapa kesempatan tertentu, mungkin karena ada perubahan beban di jaringan listrik, tetapi nilai tegangan tersebut masih dalam batas yang diperbolehkan menurut standar distribusi listrik. Stabilitas tegangan ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan bisa mencatat kondisi listrik secara tepat dan terus-menerus, sehingga bisa digunakan untuk mengawasi kualitas pasokan listrik serta mengenali adanya perubahan tegangan yang bisa mengganggu kerja perangkat listrik. Selain itu, data sejarah yang tersimpan memungkinkan pengecekan pola tegangan dalam waktu yang lama, sehingga menjadi dasar untuk mengevaluasi kinerja sistem distribusi listrik.



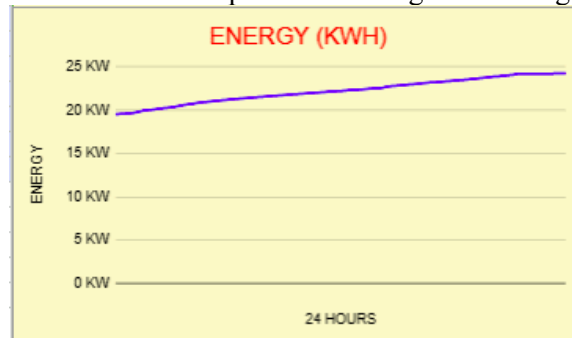
Gambar 6 (b). Grafik fluktuatif *current*

Berdasarkan Gambar 6 (b), nilai arus yang terukur selama masa uji menunjukkan perubahan yang tidak tetap, yang menandakan adanya variasi dalam pola penggunaan energi listrik sesuai dengan beban yang terhubung pada sistem. Arus listrik meningkat ketika penggunaan daya semakin besar, sedangkan arus listrik berkurang jika penggunaan daya oleh beban semakin menurun. Ini sesuai dengan cara hubungan antara daya dan arus dalam sistem listrik, yaitu semakin besar daya yang digunakan, maka semakin besar pula arus yang mengalir. Karena itu, data arus bisa dipakai sebagai tanda berapa banyak energi listrik yang digunakan dalam waktu tertentu. Selain itu, pemantauan arus secara real-time membantu mengetahui waktu-waktu tertentu di mana penggunaan energi tinggi atau rendah, sehingga bisa menjadi dasar untuk mengevaluasi penggunaan energi dan menerapkan strategi efisiensi energi yang lebih baik.



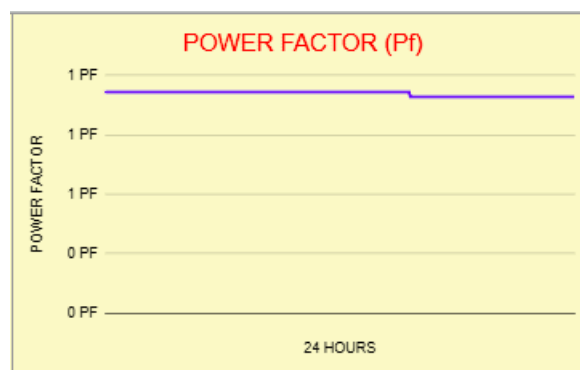
Gambar 6 (c). Grafik fluktuatif *power*

Berdasarkan Gambar 6 (c), grafik menunjukkan bahwa besarnya daya listrik yang terukur dalam 24 jam menunjukkan pola yang berubah-ubah, mengikuti perubahan nilai arus dan tegangan pada sistem. Nilai daya berada antara 0 hingga 700 Watt, yang menunjukkan perbedaan penggunaan energi listrik tergantung pada jenis beban yang digunakan. Beberapa kali terjadi kenaikan listrik yang menunjukkan adanya peningkatan penggunaan listrik karena adanya beban yang membutuhkan daya lebih besar. Penurunan daya menunjukkan bahwa jumlah atau kapasitas beban yang sedang berjalan semakin berkurang. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem pemantauan yang dibuat berhasil mencatat perubahan energi secara langsung dan tepat waktu.



Gambar 6 (d). Grafik fluktuatif *energy*

Berdasarkan Gambar 6(d), grafik memperlihatkan akumulasi konsumsi energi listrik selama periode pengamatan 24 jam. Nilai energi menunjukkan tren peningkatan yang stabil dan konsisten seiring berjalannya waktu. Kenaikan nilai energi terjadi karena energi listrik merupakan hasil akumulasi penggunaan daya terhadap waktu, sehingga nilainya akan terus bertambah selama terdapat konsumsi daya pada sistem. Tidak terdapat penurunan nilai energi selama periode pengamatan, yang menunjukkan bahwa proses pencatatan dan perhitungan energi oleh sistem *monitoring* berlangsung secara kontinu tanpa kehilangan data. Pola peningkatan yang konsisten ini mengindikasikan bahwa sensor dan sistem akuisisi data bekerja dengan baik dalam merekam konsumsi energi listrik secara akurat. Selain itu, data energi yang tersimpan dapat dimanfaatkan untuk melakukan evaluasi penggunaan listrik, analisis efisiensi energi, serta identifikasi pola konsumsi energi dalam jangka waktu tertentu guna mendukung pengelolaan energi yang lebih efektif.



Gambar 6 (e). Grafik fluktuatif *power factor*

Berdasarkan Gambar 6(e), nilai faktor daya yang terukur selama 24 jam menunjukkan tingkat kestabilan yang baik dengan nilai yang cenderung mendekati angka satu. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan menggunakan energi listrik secara efisien, di

mana sebagian besar daya yang datang dari sumber listrik bisa digunakan langsung untuk mengerjakan beban. Nilai faktor daya yang tinggi berarti daya reaktif di sistem tidak terlalu besar, sehingga kehilangan daya pada jaringan bisa dikurangi. Selain itu, nilai power factor yang tetap selama pengamatan menunjukkan bahwa karakteristik beban yang digunakan tidak berubah-ubah dan tidak memengaruhi secara signifikan kualitas energi listrik. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem pemantauan yang dibuat bisa melakukan pengukuran, pencatatan, dan pemantauan nilai power factor secara tepat dan terus menerus, sehingga bisa dijadikan salah satu parameter penting dalam menilai efisiensi dan kualitas penggunaan listrik.

Selain mengecek penyimpanan data, penelitian ini juga menguji cara komunikasi sistem Internet of Things (IoT). Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh alur proses komunikasi data, mulai dari membaca data sensor, mengirim data melalui jaringan Wi-Fi, menyimpan data ke *Google Spreadsheet*, hingga menampilkan informasi pada dashboard web server dan mengendalikan *relay*, berjalan sesuai dengan rencana sistem yang telah ditentukan. Hasil uji coba komunikasi sistem IoT ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian komunikasi sistem IoT

No	Skenario Pengujian	Hasil
1	ESP32 terhubung ke <i>Wi-Fi</i>	Berhasil
2	HTTP POST ke <i>Google Apps Script</i>	Berhasil
3	Data tersimpan di <i>Google Spreadsheet</i>	Berhasil
4	<i>Dashboard</i> diperbarui secara <i>real-time</i>	Berhasil
5	<i>Relay</i> merespons perintah	Berhasil

Berdasarkan Tabel 2, semua fungsi komunikasi dalam sistem IoT berjalan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. ESP32 bisa mengirimkan data dari sensor ke Google Apps Script melalui jaringan Wi-Fi dengan menggunakan metode HTTP POST. Data yang diterima berhasil disimpan di Google Spreadsheet dan tampil secara langsung di dashboard web server. Selain itu, relay bisa menjawab setiap perintah yang diberikan melalui dashboard. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem sudah memenuhi fungsi utama dari Internet of Things, yaitu mengumpulkan data, mengirimkan data, menyimpan data, mengawasi, dan mengendalikan secara terpadu.

4. Validasi Pengukuran Sensor

Uji reliabilitas merupakan proses untuk menilai tingkat keandalan suatu alat ukur dalam menghasilkan data yang konsisten. Pengujian ini bertujuan mengetahui apakah alat tetap memberikan hasil yang relatif sama ketika digunakan berulang kali pada kondisi yang serupa. Selain itu, reliabilitas juga menunjukkan bahwa instrumen yang dipakai dalam pengumpulan data mampu memberikan informasi yang dapat dipercaya. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat terhadap multimeter Zoyi ZT-102A yang memiliki fitur *True RMS*. Proses pengukuran menggunakan beban berupa kipas angin dengan spesifikasi daya sebesar 30 watt.

Validasi hasil pengukuran tidak hanya dilakukan melalui perbandingan nilai hasil pengukuran, tetapi juga dievaluasi secara kuantitatif menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Metrik ini digunakan untuk mengetahui rata-rata persentase kesalahan hasil pengukuran sistem terhadap alat ukur referensi sehingga tingkat akurasi sensor PZEM-004T dapat dievaluasi secara objektif. Nilai MAPE dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{ref} - X_{uji}}{X_{ref}} \right| \quad (1)$$

Tabel 3. Perbandingan antara alat yang diteliti dengan multimeter zoyi zt-102a

No	Pengukuran	Pengukuran Menggunakan Alat	Pengukuran Menggunakan Multimeter
1	Tegangan(V)	219 V	219 V
2	Arus(A)	0,18 A	0,17 A
3	Faktor Daya(φ)	0,78	0,76
4	Daya Semu(VA)	39,42 VA	37,23 VA
5	Daya Aktif (W)	30,75 W	28,29 W

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengukuran menggunakan alat yang dikembangkan menunjukkan nilai yang mendekati hasil pengukuran menggunakan multimeter Zoyi ZT-102A. Untuk memperkuat proses validasi, dilakukan evaluasi kuantitatif menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai persentase kesalahan masing-masing parameter sebesar 0,00% untuk tegangan, 5,88% untuk arus, 2,63% untuk faktor daya, 5,87% untuk daya semu, dan 7,01% untuk daya aktif, sehingga diperoleh nilai MAPE sebesar 4,28%.

Nilai MAPE tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran sistem memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap alat ukur referensi. Perbedaan hasil pengukuran dipengaruhi oleh toleransi sensor PZEM-004T, kondisi beban saat pengujian, serta toleransi alat ukur pembanding. Hasil validasi ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan layak digunakan untuk *monitoring* konsumsi energi listrik secara *real-time*.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem *monitoring* dan pencatatan Sistem penggunaan listrik berbasis *IoT* yang menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T telah dibuat dan diuji sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem bisa mengawasi parameter listrik melalui *dashboard* di *web server*, dan *dashboard* tersebut bisa diakses menggunakan jaringan *Wi-Fi* yang sama dengan perangkat ESP32.

Hasil uji menunjukkan bahwa data dari pembacaan sensor PZEM-004T memiliki angka yang hampir sama dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter Zoyi ZT-102A sebagai alat pengukur acuan. Pada pengujian dengan menggunakan beban kipas angin 30 watt, didapatkan hasil tegangan sebesar 219 volt pada kedua alat pengukur, sedangkan besaran arus, faktor daya, daya semu, dan daya aktif menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu besar. Hal itu menunjukkan bahwa sistem pemantauan yang dibuat cukup akurat dan bisa digunakan sebagai alat untuk memantau penggunaan listrik secara *real-time*.

Penerapan teknologi *IoT* dalam penelitian ini memudahkan proses pemantauan energi listrik karena data hasil pengukuran tidak hanya ditampilkan secara lokal, tetapi juga tersimpan secara otomatis di Google Spreadsheet sebagai data sejarah. Penyimpanan data historis ini memudahkan pengguna untuk menganalisis penggunaan energi listrik dalam jangka waktu tertentu, sehingga mudah dideteksi adanya potensi pemborosan energi. Selain itu, data yang tersimpan bisa diubah menjadi grafik penggunaan listrik, sehingga memudahkan proses mengevaluasi penggunaan energi..

Menggunakan web server berbasis ESP32 juga memberi keuntungan dalam hal kemudahan akses karena pengguna bisa memantau penggunaan listrik melalui smartphone atau komputer tanpa harus menginstal aplikasi tambahan. Dashboard sistem yang dibuat dengan menggunakan HTML, CSS, dan *JavaScript* bisa menampilkan data listrik secara interaktif dan mudah dipahami oleh pengguna. Selain berfungsi untuk pemantauan, sistem juga memiliki fitur kontrol *relay* yang memungkinkan pengguna mengatur jalur listrik secara langsung melalui dashboard pemantauan.

Hasil penelitian ini memudahkan proses pengawasan listrik, membuat pengawasan penggunaan energi lebih efektif, dan mempermudah penginputan data secara otomatis. Namun, penelitian ini juga meliputi beberapa peningkatan, seperti pemantauan secara real-time, penyimpanan data historis di dalam *spreadsheet*, serta pengontrolan *relay* yang semuanya terintegrasi dalam satu sistem berbasis ESP32.

Meskipun sistem tersebut berjalan lancar, penelitian ini masih memiliki beberapa kekurangan. Sistem pemantauan masih memerlukan koneksi *Wi-Fi* yang stabil, sehingga ketika jaringan mengalami masalah, proses pengiriman data ke *spreadsheet* menjadi terganggu. Selain itu, akurasi sensor PZEM-004T bisa berubah tergantung pada kondisi beban dan ketepatan sensor, sehingga hasil pengukurannya mungkin sedikit berbeda dibandingkan alat ukur yang standar. Sistem masih memakai jaringan lokal di server web, sehingga pengaksesan untuk memantau belum bisa dilakukan secara lengkap melalui internet umum.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian berikutnya bisa diperluas dengan menambahkan fitur pengawasan yang menggunakan server cloud, sehingga data dapat diakses dari berbagai tempat selama terhubung ke internet. Selain itu, bisa ditambahkan sistem pemberitahuan otomatis saat terjadi penggunaan daya yang berlebihan atau gangguan listrik. Pengembangan lain yang bisa dilakukan adalah dengan memanfaatkan database online dan aplikasi mobile agar sistem pengawasan menjadi lebih efisien, canggih, dan lebih mudah digunakan dalam skala industri yang lebih besar.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, sistem pemantauan dan pencatatan penggunaan listrik berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T berhasil dibuat dan diterapkan dengan baik. Sistem bisa mengawasi parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, frekuensi, dan energi secara langsung melalui server web yang menggunakan koneksi *Wi-Fi*. Selain digunakan untuk pemantauan, sistem ini juga bisa menyimpan secara otomatis data penggunaan listrik sebelumnya ke *Google Spreadsheet*, sehingga memudahkan analisis penggunaan energi listrik dalam waktu tertentu. Data historis tersebut bisa diubah menjadi grafik penggunaan energi, sehingga pengguna bisa tahu pola penggunaan listrik dan kemungkinan adanya pemborosan energi dengan lebih efektif..

Hasil pengujian menyimpulkan bahwa alat yang dibuat memiliki tingkat keakuratan yang cukup baik karena hasil pengukuran mendekati alat ukur standar berupa multimeter Zoyi ZT-102A. Dengan adanya integrasi *monitoring realtime*, penyimpanan data berbasis *cloud*, dan fitur kontrol *relay*, sistem yang dirancang mampu meningkatkan efektivitas pengawasan penggunaan energi listrik serta memberikan kemudahan dalam proses *monitoring* dan pengendalian beban listrik. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT yang praktis, efisien, dan mudah diterapkan baik pada lingkungan industri maupun rumah tangga.

Untuk pengembangan lebih lanjut, Peneliti memberikan beberapa saran antara lain:

1. Pengembangan *dashboard* web server menjadi *mobile app* yang dapat terakses tanpa terhubung langsung dengan *wifi* yang sama.
2. Pengembangan sistem analisa data yang telah dikirim ke *google spreadsheet*, sehingga dapat memudahkan pengguna untuk *menganalisa* data yang tersedia.
3. Penambahan *power external* pada rangkaian, sehingga saat terjadi listrik padam, rangkaian tetap dapat beroperasi untuk sementara waktu.

REFERENSI

- [1] R. V. Siva Balan *dkk.*, "Development of smart energy monitoring using NB-IOT and cloud," *Meas. Sens.*, vol. 29, hlm. 100884, Okt 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100884.
- [2] A. E. I Ketut, M. A. Afandi, H. Pujiharsono, F. N. Gustiyana, H. Krishna, dan F. H. Juwono, "IMPLEMENTATION AND ANALYSIS OF THE INTERNET OF THINGS SYSTEM FOR ELECTRICAL ENERGY MONITORING AT INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO," *J. Tek. Inform. Jutif*, vol. 4, no. 3, hlm. 627–638, Jun 2023, doi: 10.52436/1.jutif.2023.4.3.1027.
- [3] S. Nurdyanti dan O. Candra, "Sistem Monitoring Daya Listrik 3 Fasa Berbasis IoT (Internet of Things)," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, hlm. 924–933, Okt 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.532.
- [4] A. F. Ikhfa dan M. Yuhendri, "Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Internet of Things," vol. 3, 2022.
- [5] I. Surya *dkk.*, "Sistem monitoring beban listrik dan perbaikan faktor daya menggunakan PZEM004T dan dashboard Adafruit berbasis IoT," *JITEL J. Ilm. Telekomun. Elektron. Dan List. Tenaga*, vol. 3, no. 3, hlm. 235–246, Sep 2023, doi: 10.35313/jitel.v3.i3.2023.235-246.
- [6] D. Azizi dan V. Arinal, "SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK MENGGUNAKAN INTERNET OF THING (IOT) BERBASIS MOBILE," *J. Indones. Manaj. Inform. Dan Komun.*, vol. 4, no. 3, hlm. 1808–1813, Sep 2023, doi: 10.35870/jimik.v4i3.409.
- [7] W. Yuniarto, I. I, S. S, R. Man, M. Diponegoro, dan E. E, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KONTROL ENERGI LISTRIK PADA BEBAN 3 FASA MENGGUNAKAN ESP32 BERBASIS INTERNET OF THINK (IOT)," *J. Poli-Teknol.*, vol. 22, no. 1, hlm. 30–38, Jan 2023, doi: 10.32722/pt.v22i1.5102.
- [8] T. Ba Nguyen dan T. Cao Nguyen, "Design and fabrication of an IoT-based smart electrical meter for residential energy management," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 30, no. 3, hlm. 1259, Jun 2023, doi: 10.11591/ijeecs.v30.i3.pp1259-1268.
- [9] S. Mulyani, *Metode analisis dan perancangan sistem*. Bandung: Abdi Sistematika, 2017.
- [10] M. T. Adkhar dan H. Afianti, "Monitoring and Control System of Parallel Loads Electricity Consumption Based on IOT," *JEECS J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 1, hlm. 63–70, Jun 2023, doi: 10.54732/jeecs.v8i1.8.
- [11] T. A. Loufansa, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Tiga Fasa Berbasis Web," vol. 5, no. 1, 2023.
- [12] F. F. Mubina dan G. Firasanto, "Pemantauan dan Pengendalian Pemakaian Energi Listrik Berbasis IoT," *EPIC J. Electr. Power Instrum. Control*, vol. 5, no. 2, hlm. 216, Jan 2023, doi: 10.32493/epic.v5i2.28419.
- [13] K. A. Yasa, I. M. Purbhawa, I. M. S. Yasa, I. W. Teresna, A. Nugroho, dan S. Winardi, "IoT-based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers," *J. Comput. Sci. Technol. Stud.*, vol. 5, no. 4, hlm. 62–68, Nov 2023, doi: 10.32996/jcsts.2023.5.4.7.

- [14] P. Macheso, S. Chisale, C. Daka, N. Dzipire, J. Mlatho, dan D. Mukanyirigira, "Design of Standalone Asynchronous ESP32 Web-Server for Temperature and Humidity Monitoring," dalam *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, India: IEEE, Mar 2021, hlm. 635–638. doi: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441845.
- [15] D. A. Ratnasari, B. Suprianto, dan F. Baskoro, "MonitoringgDaya ListrikkPada Panel Surya BerbasissInternet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram," 2022.