

PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING ARUS, TEGANGAN, DAYA DAN KONSUMSI ENERGI LISTRIK BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ESP32 PADA RUANG KELAS DI IKIP PGRI BOJONEGORO

M Zaenal Arif¹, Ahmad Kholiqul Amin,² Day Ramadhani Amir³

¹²³ Pendidikan Teknologi Informasi, IKIP PGRI Bojonegoro, Jl. Panglima Pollim No.46 Bojonegoro

¹E-mail: zaenalarf023@gmail.com, Telp: 083829317954

²E-mail: choliqamin@gmail.com, Telp: 085648732677

³E-mail: day.ramadhani@ikippgribojonegoro.ac.id, Telp: 082242070402

Abstrak

Penggunaan energi listrik pada lingkungan pendidikan terus meningkat seiring bertambahnya pemanfaatan perangkat elektronik dalam kegiatan pembelajaran. Namun, pemantauan penggunaan energi listrik di ruang kelas umumnya masih dilakukan secara konvensional sehingga informasi mengenai kondisi arus, tegangan, daya, dan konsumsi energi listrik belum dapat diperoleh secara real-time. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan pemborosan energi serta menyulitkan proses evaluasi penggunaan energi listrik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring arus, tegangan, daya, dan konsumsi energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T pada ruang kelas IKIP PGRI Bojonegoro. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik, kemudian data diproses oleh ESP32 dan dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju server. Data selanjutnya disimpan pada basis data MySQL dan ditampilkan melalui dashboard monitoring berbasis PHP Native secara real-time. Hasil pengembangan menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan secara otomatis dan menampilkan informasi penggunaan energi listrik melalui dashboard web yang dapat diakses secara online. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat membantu pengelola kampus dalam melakukan pemantauan penggunaan energi listrik, mengidentifikasi potensi pemborosan energi, serta mendukung pengelolaan energi listrik yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: Internet of Things, ESP32, PZEM-004T, Monitoring Energi Listrik, Ruang Kelas.

Abstract

The use of electrical energy in educational environments continues to increase along with the growing utilization of electronic devices in learning activities. However, monitoring of electricity usage in classrooms is generally still carried out conventionally, so information regarding current, voltage, power, and energy consumption cannot be obtained in real time. This condition has the potential to cause energy waste and make the evaluation of electricity usage more difficult. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based monitoring system for current, voltage, power, and electrical energy consumption using an ESP32 microcontroller and a PZEM-004T sensor in classrooms at IKIP PGRI Bojonegoro. The research method used is Research and Development (R&D) with stages of needs analysis, system design, implementation, and testing. The PZEM-004T

sensor is used to measure electrical parameters such as voltage, current, power, and electrical energy, then the data are processed by the ESP32 and transmitted via a WiFi network to the server. The data are then stored in a MySQL database and displayed through a PHP Native-based monitoring dashboard in real time. The development results show that the system is able to monitor electrical parameters automatically and display electricity usage information through a web dashboard that can be accessed online. The developed system is expected to assist campus administrators in monitoring electricity usage, identifying potential energy waste, and supporting more efficient and sustainable electrical energy management.

Keyword: Internet of Things, ESP32, PZEM-004T, Electrical Energy Monitoring, Classroom.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas pembelajaran di lingkungan pendidikan. Hampir seluruh kegiatan akademik saat ini bergantung pada ketersediaan energi listrik, baik untuk penerangan ruang kelas, pengoperasian komputer, proyektor, pendingin ruangan, perangkat jaringan, maupun berbagai alat penunjang pembelajaran lainnya. Ketergantungan terhadap perangkat elektronik tersebut menyebabkan konsumsi energi listrik di institusi pendidikan terus meningkat seiring bertambahnya intensitas penggunaan fasilitas kampus. Dalam kondisi ini, pengelolaan energi listrik tidak lagi cukup hanya berfokus pada ketersediaan daya, tetapi juga perlu diarahkan pada efisiensi penggunaan agar biaya operasional dapat ditekan dan pemanfaatan energi menjadi lebih optimal (Asyari et al., 2025).

Pada lingkungan perguruan tinggi, ruang kelas menjadi salah satu area dengan tingkat penggunaan energi listrik yang cukup tinggi karena digunakan secara rutin dan berulang setiap hari. Berbagai perangkat listrik sering dioperasikan secara bersamaan selama proses pembelajaran berlangsung, terutama pada ruang kelas yang telah dilengkapi fasilitas modern. Namun demikian, penggunaan energi listrik pada ruang kelas umumnya belum diikuti dengan sistem pemantauan yang memadai. Pengelola fasilitas biasanya hanya mengetahui besarnya konsumsi listrik melalui tagihan bulanan atau pemeriksaan manual terhadap instalasi listrik. Cara tersebut memang dapat memberikan gambaran umum mengenai penggunaan energi, tetapi belum mampu menunjukkan kondisi kelistrikan secara rinci pada waktu tertentu, seperti arus, tegangan, daya, dan energi yang sedang digunakan. Akibatnya, potensi pemborosan energi sering kali tidak terdeteksi secara cepat dan sulit dianalisis secara mendalam (Ali Jasim & ALRkabi, 2022).

Keterbatasan metode pemantauan konvensional tersebut menjadi salah satu alasan pentingnya pengembangan sistem monitoring energi listrik yang lebih modern. Sistem monitoring yang baik harus mampu memberikan informasi secara real-time, akurat, mudah diakses, serta dapat menyimpan data historis untuk keperluan evaluasi. Dengan adanya data yang tersaji secara berkelanjutan, pengelola dapat mengetahui pola penggunaan energi listrik pada jam-jam tertentu, mendeteksi beban berlebih, serta mengidentifikasi perangkat yang berpotensi menyebabkan pemborosan energi. Informasi tersebut sangat penting dalam mendukung pengambilan keputusan yang berkaitan dengan efisiensi dan penghematan energi listrik di lingkungan pendidikan (Heri Andrianto, 2024).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang besar dalam mewujudkan sistem monitoring energi listrik yang lebih efektif. IoT memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga proses pengambilan data, pengiriman data, penyimpanan data, dan penyajian informasi dapat dilakukan secara otomatis. Dalam konteks monitoring energi listrik, teknologi ini memungkinkan data penggunaan listrik dipantau dari jarak jauh tanpa harus berada di lokasi secara langsung. Selain itu, data yang tersimpan dalam basis data dapat digunakan untuk analisis jangka panjang, misalnya untuk melihat tren konsumsi energi, membandingkan penggunaan antarperiode, dan mengevaluasi efektivitas kebijakan penghematan energi. Dengan demikian, IoT tidak hanya berfungsi sebagai media pemantauan, tetapi juga sebagai sarana pendukung pengelolaan energi yang lebih cerdas dan berkelanjutan (Orumwense & Abo-Al-Ez, 2022).

Salah satu komponen penting dalam sistem IoT adalah mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan penghubung antara sensor dengan server. ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis IoT karena memiliki performa yang baik, konsumsi daya yang relatif rendah, serta telah dilengkapi modul WiFi terintegrasi. Keunggulan ini membuat ESP32 mampu mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke server secara langsung tanpa memerlukan modul komunikasi tambahan. Selain itu, ESP32 juga memiliki kemampuan pemrosesan yang cukup stabil untuk menangani pembacaan data secara periodik dan mengelola komunikasi dengan perangkat lunak pendukung. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ESP32 sangat sesuai digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT karena mampu bekerja secara real-time dan memiliki tingkat keandalan yang baik dalam proses pengiriman data (Sanaris & Suharjo, 2020).

Dalam sistem monitoring energi listrik, keberadaan sensor yang mampu membaca parameter kelistrikan secara akurat menjadi faktor yang sangat penting. Sensor PZEM-004T merupakan salah satu modul pengukuran energi listrik yang banyak digunakan karena mampu mengukur beberapa parameter sekaligus, yaitu tegangan, arus, daya aktif, frekuensi, faktor daya, dan konsumsi energi listrik. Sensor ini bekerja pada sistem arus bolak-balik (AC) dan dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32 melalui komunikasi serial. Penggunaan PZEM-004T dinilai efektif karena mampu memberikan hasil pengukuran yang cukup akurat, mudah dipasang, serta praktis digunakan dalam sistem monitoring berbasis IoT. Dengan kemampuan tersebut, sensor ini sangat sesuai untuk diterapkan pada ruang kelas yang membutuhkan pemantauan penggunaan listrik secara berkelanjutan (Muslihi, 2025).

Selain perangkat keras, sistem monitoring energi listrik juga memerlukan perangkat lunak yang mampu menampilkan data secara informatif dan mudah dipahami. Dalam penelitian ini, data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke server dan disimpan pada basis data MySQL. Pemilihan MySQL didasarkan pada kemampuannya dalam menyimpan data secara terstruktur, mendukung pengelolaan data historis, serta mudah diintegrasikan dengan aplikasi berbasis web. Selanjutnya, data tersebut ditampilkan melalui dashboard monitoring berbasis PHP Native agar pengguna dapat melihat informasi arus, tegangan, daya, dan energi listrik secara real-time melalui browser. Dashboard web menjadi komponen penting karena berfungsi sebagai antarmuka utama yang menghubungkan sistem dengan pengguna, sehingga informasi yang dihasilkan dapat diakses dengan mudah kapan saja dan dari mana saja selama terhubung ke internet.

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem monitoring energi listrik berbasis IoT memiliki potensi besar dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan energi. (Heri Andrianto, 2024) mengembangkan platform pemantauan penggunaan energi listrik berbasis IoT yang mampu menampilkan data penggunaan energi secara real-time dan historis melalui dashboard web. (Muhtadi et al., 2025) juga berhasil mengembangkan sistem monitoring energi listrik tiga fase berbasis IoT dan Firebase yang mampu menyimpan data secara real-time pada basis data. Selain itu, (Geraldine et al., 2024) mengembangkan sistem monitoring dan otomatisasi penggunaan listrik berbasis IoT pada lingkungan kampus yang dapat membantu pengelolaan energi secara lebih efisien. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan IoT pada sistem monitoring energi listrik memberikan manfaat yang signifikan dalam hal pemantauan, pencatatan, dan evaluasi penggunaan energi.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian yang telah dilakukan masih berfokus pada lingkungan rumah tangga, industri, atau prototipe laboratorium. Implementasi sistem monitoring energi listrik pada ruang kelas perguruan tinggi masih relatif terbatas, padahal ruang kelas merupakan salah satu area dengan penggunaan energi yang cukup tinggi dan berulang. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan sensor PZEM-004T, mikrokontroler ESP32, basis data MySQL, dan dashboard berbasis PHP Native dalam satu sistem monitoring yang mampu menyajikan data real-time sekaligus menyimpan data historis secara terstruktur. Padahal integrasi tersebut sangat penting untuk mendukung evaluasi efisiensi energi pada lingkungan pendidikan, terutama dalam upaya mengidentifikasi pola penggunaan listrik dan potensi pemborosan energi (Atmanto et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring arus, tegangan, daya, dan konsumsi energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T pada ruang kelas di IKIP PGRI Bojonegoro. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan jaringan WiFi sebagai media komunikasi data, database MySQL sebagai media penyimpanan, dan dashboard berbasis PHP Native sebagai antarmuka monitoring. Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses pemantauan penggunaan energi listrik dapat dilakukan secara real-time, data historis dapat tersimpan dengan baik, dan pengelola kampus dapat memperoleh informasi yang lebih akurat untuk mendukung penghematan energi serta meningkatkan efektivitas pengelolaan energi listrik di lingkungan perguruan tinggi.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan rekayasa sistem untuk menghasilkan produk berupa sistem monitoring arus, tegangan, daya, dan konsumsi energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) pada ruang kelas IKIP PGRI Bojonegoro. Metode R&D dipilih karena penelitian tidak hanya bertujuan memperoleh data, tetapi juga merancang, membangun, menguji, dan mengevaluasi sebuah sistem yang dapat diterapkan secara langsung pada lingkungan nyata. Dalam penelitian ini, proses pengembangan dilakukan secara bertahap mulai dari identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, hingga evaluasi hasil kinerja sistem (Deniziak et al., 2022).

Penelitian dilaksanakan pada ruang kelas di IKIP PGRI Bojonegoro yang menjadi objek pemantauan penggunaan energi listrik. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk memantau parameter kelistrikan secara real-time, yaitu tegangan (V), arus (A), daya (W), dan konsumsi energi listrik (kWh). Seluruh data hasil pengukuran dikirimkan melalui jaringan internet, disimpan pada database MySQL, dan ditampilkan pada dashboard berbasis PHP Native agar dapat diakses dengan mudah melalui perangkat komputer maupun smartphone yang terhubung ke internet.

Tahap awal penelitian adalah analisis kebutuhan sistem. Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap permasalahan yang terjadi di lapangan, yaitu belum tersedianya sistem pemantauan energi listrik yang mampu menampilkan data penggunaan listrik secara langsung dan berkelanjutan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, ditentukan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan. Perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, modul catu daya, kabel penghubung, dan jaringan WiFi. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, PHP Native untuk pengembangan antarmuka web, MySQL sebagai basis data, serta browser sebagai media akses dashboard monitoring.

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem. Perancangan dilakukan dengan menyusun arsitektur sistem secara keseluruhan agar alur kerja perangkat dapat berjalan dengan baik. Sensor PZEM-004T dipasang pada jalur listrik ruang kelas untuk membaca parameter tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi serial. ESP32 kemudian memproses data tersebut dan mengirimkannya ke server melalui jaringan WiFi menggunakan metode HTTP Request. Server menerima data, menyimpannya ke dalam database MySQL, lalu menampilkannya pada dashboard monitoring berbasis web secara real-time. Arsitektur sistem ini disusun agar proses akuisisi data, pengiriman data, penyimpanan data, dan visualisasi data dapat berlangsung secara otomatis dan berkesinambungan.

Selain arsitektur sistem, pada tahap perancangan juga dibuat diagram blok, wiring diagram, dan flowchart sistem. Diagram blok digunakan untuk menggambarkan hubungan antar komponen utama dalam sistem, mulai dari sensor, mikrokontroler, jaringan internet, server, hingga dashboard pengguna. Wiring diagram disusun untuk memastikan koneksi antar perangkat keras sesuai dengan kebutuhan komunikasi data dan catu daya. Flowchart sistem dibuat untuk menjelaskan urutan kerja sistem mulai dari inisialisasi perangkat, pembacaan sensor, pengiriman data, penyimpanan data, hingga penampilan data pada dashboard. Perancangan yang sistematis ini penting agar proses implementasi dapat dilakukan dengan lebih terarah dan meminimalkan kesalahan pada saat integrasi perangkat.

Tahap implementasi dilakukan dengan merakit seluruh komponen perangkat keras dan mengintegrasikannya dengan perangkat lunak yang telah dirancang. ESP32 diprogram menggunakan Arduino IDE agar mampu membaca data dari sensor PZEM-004T secara periodik. Program pada ESP32 juga dilengkapi dengan konfigurasi koneksi WiFi agar perangkat dapat terhubung ke jaringan internet. Setelah data sensor diperoleh, ESP32 mengirimkan data tersebut ke server menggunakan protokol HTTP. Pada sisi server, data yang diterima diproses oleh skrip PHP untuk kemudian disimpan ke dalam database MySQL. Data yang tersimpan selanjutnya ditampilkan pada halaman dashboard dalam bentuk angka, tabel, dan informasi monitoring yang mudah dipahami oleh pengguna.

Pada tahap implementasi ini juga dilakukan pengaturan struktur database agar data dapat tersimpan secara terorganisir. Database dirancang untuk menyimpan informasi waktu pengukuran, tegangan, arus, daya, dan energi listrik. Dengan adanya penyimpanan data historis, pengguna dapat melakukan penelusuran terhadap pola penggunaan energi listrik pada waktu tertentu. Hal ini sangat penting untuk mendukung analisis efisiensi energi dan pengambilan keputusan dalam pengelolaan listrik di lingkungan kampus.

Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dikembangkan telah bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian dilakukan secara bertahap pada setiap bagian sistem, yaitu pengujian sensor, pengujian komunikasi data, pengujian penyimpanan database, dan pengujian tampilan dashboard. Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa PZEM-004T mampu membaca parameter kelistrikan dengan stabil dan sesuai dengan kondisi beban listrik yang digunakan. Pengujian komunikasi data dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data dari ESP32 ke server melalui jaringan WiFi. Pengujian database dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikirim dapat tersimpan dengan benar pada MySQL. Sementara itu, pengujian dashboard dilakukan untuk melihat apakah data dapat ditampilkan secara real-time dan dapat diakses melalui browser tanpa kendala.

Selain pengujian fungsional, dilakukan pula pengujian kestabilan sistem dalam periode tertentu untuk melihat konsistensi pembacaan sensor dan pengiriman data. Pengujian ini penting karena sistem monitoring berbasis IoT harus mampu bekerja secara terus-menerus tanpa mengalami gangguan yang berarti. Jika terjadi keterlambatan pengiriman data, kehilangan data, atau kesalahan pembacaan, maka sistem perlu dilakukan perbaikan pada sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual di lapangan untuk menilai tingkat keberhasilan sistem.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil pembacaan sensor, data yang tersimpan di database, dan data yang ditampilkan pada dashboard. Analisis ini digunakan untuk mengetahui kesesuaian antar komponen sistem serta menilai apakah sistem telah mampu menjalankan fungsi monitoring secara real-time. Keberhasilan sistem ditentukan berdasarkan beberapa indikator, yaitu sensor mampu membaca parameter listrik dengan baik, ESP32 dapat mengirimkan data ke server secara stabil, database dapat menyimpan data tanpa kehilangan informasi, dan dashboard dapat menampilkan data secara akurat serta mudah diakses oleh pengguna.

Secara keseluruhan, metode penelitian ini dirancang agar menghasilkan sistem monitoring energi listrik yang tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantau, tetapi juga sebagai media pendukung pengelolaan energi listrik yang lebih efisien di ruang kelas IKIP PGRI Bojonegoro. Dengan pendekatan R&D, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam penerapan teknologi IoT pada bidang pemantauan energi listrik di lingkungan pendidikan.

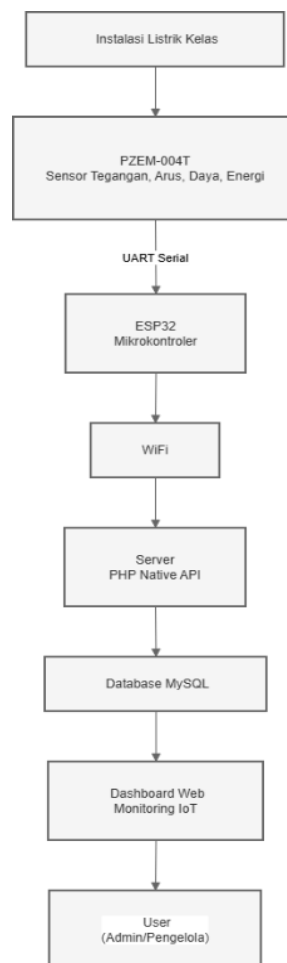
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem monitoring arus, tegangan, daya, dan konsumsi energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang diterapkan pada ruang kelas IKIP PGRI Bojonegoro. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data, sensor PZEM-004T sebagai perangkat pembaca parameter kelistrikan, database MySQL sebagai media penyimpanan data, serta dashboard berbasis PHP Native sebagai media visualisasi informasi. Sistem dirancang agar mampu melakukan pemantauan penggunaan energi listrik secara

real-time sehingga pengguna dapat memperoleh informasi kondisi kelistrikan dengan lebih cepat, akurat, dan mudah diakses melalui jaringan internet.

Arsitektur sistem monitoring

Arsitektur sistem monitoring energi listrik yang dikembangkan terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi listrik dari instalasi listrik ruang kelas. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi serial. Selanjutnya ESP32 mengirimkan data ke server melalui jaringan WiFi menggunakan metode HTTP Request. Data yang diterima server disimpan ke dalam database MySQL dan ditampilkan pada dashboard berbasis web.

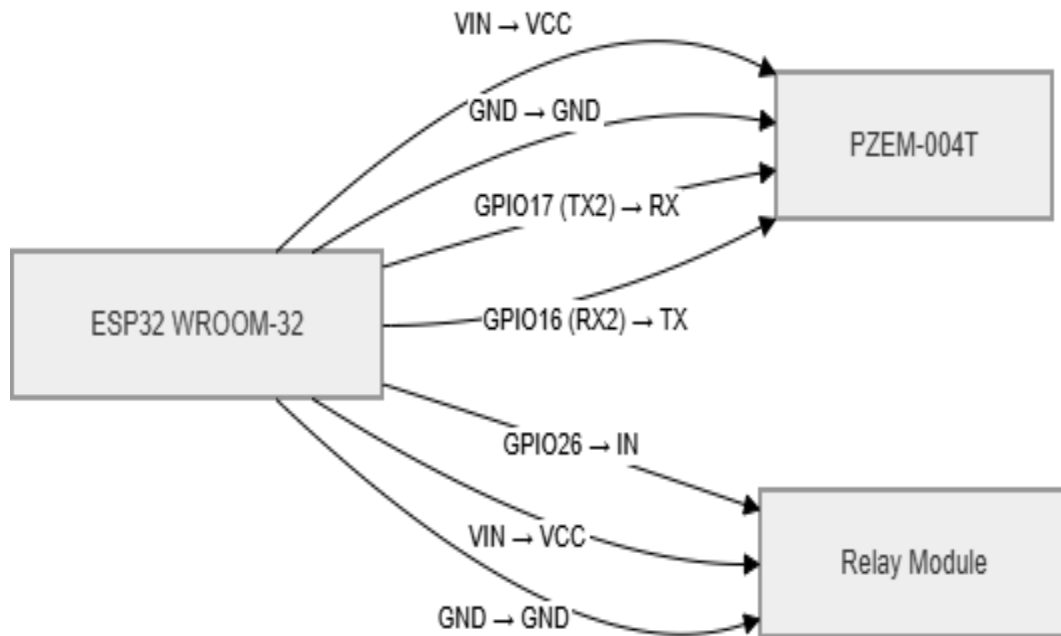


Gambar 1. Diagram Blok Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Iobv

Berdasarkan diagram blok tersebut, seluruh proses monitoring berlangsung secara otomatis mulai dari proses pengambilan data, pengiriman data, penyimpanan data, hingga visualisasi data pada dashboard web. Arsitektur ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi penggunaan energi listrik tanpa harus berada di lokasi pengukuran secara langsung.

Perancangan wiring ESP32 dan PZEM-004T

Koneksi perangkat keras dilakukan dengan menghubungkan sensor PZEM-004T ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi serial UART. Wiring ini memungkinkan data hasil pembacaan sensor dapat diterima dan diproses oleh ESP32 sebelum dikirimkan ke server.

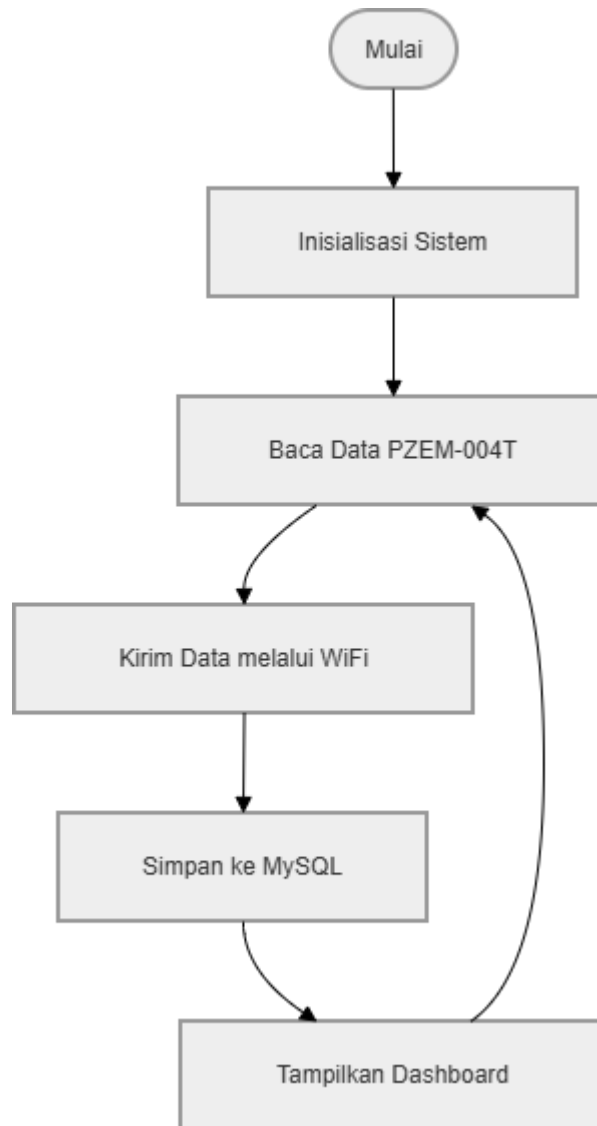


Gambar 2. Wiring Diagram ESP32 dan PZEM-004T

Konfigurasi tersebut digunakan untuk mendukung proses komunikasi data antara sensor dan mikrokontroler secara stabil. Penggunaan pin UART pada ESP32 memudahkan proses pertukaran data serial dengan sensor PZEM-004T sehingga pembacaan parameter listrik dapat dilakukan secara kontinu.

Flowchart sistem monitoring

Flowchart digunakan untuk menggambarkan alur kerja sistem mulai dari proses inialisasi perangkat hingga penampilan data pada dashboard monitoring.



Gambar 3. Flowchart Sistem Monitoring Energi Listrik

Alur kerja sistem dimulai dari proses inisialisasi ESP32 dan koneksi WiFi. Setelah koneksi berhasil dilakukan, ESP32 membaca data dari sensor PZEM-004T. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan ke server dan disimpan pada database MySQL. Selanjutnya data ditampilkan pada dashboard web secara real-time. Proses ini berlangsung secara berulang selama sistem aktif sehingga pengguna dapat memperoleh informasi terbaru mengenai kondisi penggunaan energi listrik.

Implementasi perangkat monitoring

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen perangkat keras dapat terintegrasi dengan baik. Sensor PZEM-004T berhasil melakukan pembacaan parameter kelistrikan, sedangkan ESP32 mampu mengirimkan data ke server melalui jaringan internet tanpa memerlukan perangkat komunikasi tambahan.

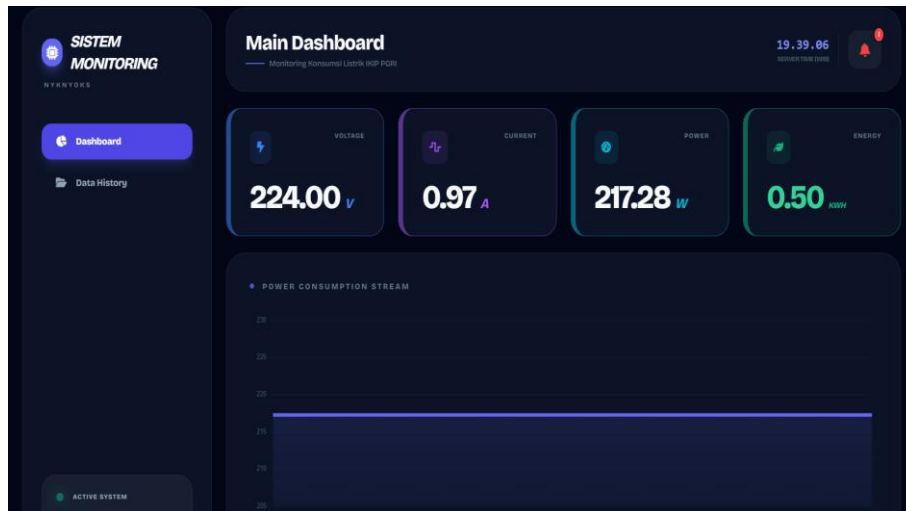


Gambar 4. Implementasi Perangkat Monitoring Energi Listrik

Perangkat monitoring ditempatkan pada instalasi listrik ruang kelas untuk melakukan pengukuran secara langsung terhadap beban listrik yang digunakan selama kegiatan pembelajaran berlangsung. Penempatan perangkat dilakukan dengan memperhatikan keamanan instalasi dan kemudahan akses untuk proses pemantauan maupun perawatan sistem.

Implementasi dashboard monitoring

Dashboard monitoring dikembangkan menggunakan PHP Native dan MySQL sebagai basis data. Dashboard berfungsi sebagai antarmuka utama yang digunakan pengguna untuk memantau kondisi kelistrikan secara real-time.



Gambar 5. Tampilan Dashboard Monitoring Energi Listrik

Dashboard menampilkan informasi parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi listrik. Selain itu, dashboard juga menyediakan data historis hasil pengukuran yang tersimpan pada database sehingga pengguna dapat melakukan analisis penggunaan energi listrik berdasarkan waktu tertentu. Tampilan dashboard dibuat sederhana agar mudah digunakan oleh pengguna dengan berbagai tingkat pemahaman teknologi.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi antara sensor PZEM-004T, ESP32, database MySQL, dan dashboard berbasis PHP Native mampu menghasilkan sistem monitoring energi listrik yang berjalan dengan baik. Sistem ini dapat membaca parameter kelistrikan secara otomatis, mengirimkan data ke server, menyimpan data secara terstruktur, dan menampilkan informasi pada dashboard secara real-time. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk membangun sistem monitoring energi listrik berbasis IoT pada ruang kelas IKIP PGRI Bojonegoro telah tercapai.

Penggunaan ESP32 sebagai mikrokontroler utama memberikan keuntungan karena perangkat ini telah dilengkapi dengan modul WiFi bawaan sehingga proses pengiriman data ke server dapat dilakukan tanpa menambahkan modul komunikasi eksternal. Hal ini membuat sistem menjadi lebih sederhana, efisien, dan ekonomis. Selain itu, ESP32 juga memiliki kemampuan pemrosesan yang cukup baik untuk menangani pembacaan sensor dan pengiriman data secara periodik.

Sensor PZEM-004T terbukti mampu membaca parameter tegangan, arus, daya, dan energi listrik dengan baik. Sensor ini sesuai digunakan pada penelitian karena dapat memberikan data kelistrikan secara langsung dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. Hasil pembacaan sensor yang stabil menunjukkan bahwa perangkat ini dapat diandalkan untuk kebutuhan monitoring penggunaan listrik pada lingkungan pendidikan.

Penerapan database MySQL juga memberikan manfaat dalam proses penyimpanan data. Setiap hasil pembacaan sensor dapat disimpan secara otomatis sehingga data historis tetap tersedia untuk dianalisis. Penyimpanan data secara terstruktur memudahkan proses pengolahan informasi, terutama jika pengguna ingin mengetahui pola penggunaan energi listrik dalam rentang waktu

tertentu. Dengan adanya data historis, pengelola ruang kelas dapat melakukan evaluasi terhadap efisiensi penggunaan listrik.

Dashboard berbasis PHP Native berperan penting sebagai media visualisasi data. Tampilan dashboard yang sederhana dan informatif memudahkan pengguna dalam memahami kondisi kelistrikan tanpa harus melihat data mentah dari sensor. Informasi yang ditampilkan secara real-time membantu pengguna untuk segera mengetahui perubahan beban listrik yang terjadi di ruang kelas. Hal ini sangat bermanfaat dalam mendukung pengawasan penggunaan energi listrik secara lebih efektif.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan, yaitu mampu melakukan pemantauan secara real-time, dapat diakses melalui jaringan internet, menyimpan data historis, dan menggunakan komponen yang relatif mudah diperoleh. Sistem ini juga dapat menjadi solusi awal dalam mendukung efisiensi energi listrik di lingkungan kampus. Dengan adanya sistem monitoring ini, pengelola dapat mengetahui besarnya konsumsi energi listrik pada ruang kelas dan mengambil langkah penghematan apabila diperlukan.

Meskipun demikian, sistem ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Salah satunya adalah ketergantungan pada koneksi internet untuk proses pengiriman data ke server. Jika jaringan internet tidak stabil, maka proses pengiriman data dapat terganggu. Selain itu, sistem masih berfokus pada satu titik pengukuran sehingga pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan beberapa titik monitoring agar cakupan pengawasan menjadi lebih luas. Pengembangan berikutnya juga dapat diarahkan pada penambahan fitur notifikasi otomatis apabila terjadi penggunaan daya yang melebihi batas tertentu.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pemanfaatan IoT pada sistem monitoring energi listrik mampu meningkatkan kemudahan pemantauan dan efisiensi pengelolaan daya. Dengan menggabungkan sensor, mikrokontroler, jaringan internet, dan dashboard web, sistem monitoring menjadi lebih praktis dibandingkan metode manual. Oleh karena itu, penerapan sistem ini pada ruang kelas IKIP PGRI Bojonegoro dinilai relevan dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring energi listrik berbasis IoT yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan rancangan. Sistem ini dapat menjadi alat bantu dalam memantau penggunaan energi listrik secara real-time serta mendukung upaya efisiensi energi di lingkungan pendidikan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring arus, tegangan, daya, dan konsumsi energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan dengan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T mampu menjawab permasalahan pemantauan penggunaan energi listrik pada ruang kelas IKIP PGRI Bojonegoro. Sistem ini dapat melakukan pengukuran secara real-time, mengirimkan data melalui jaringan WiFi, menyimpan data ke dalam database MySQL, serta menampilkan hasil monitoring melalui dashboard berbasis PHP Native.

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem dapat terintegrasi dengan baik sehingga proses pemantauan energi listrik dapat dilakukan secara otomatis,

akurat, dan berkelanjutan. Sistem juga menyediakan data historis yang bermanfaat untuk melihat pola penggunaan energi listrik dan mendukung upaya efisiensi energi di lingkungan kampus.

Dengan demikian, sistem monitoring yang dikembangkan dapat dijadikan sebagai solusi alternatif dalam pengelolaan konsumsi energi listrik secara lebih efektif. Untuk pengembangan selanjutnya, sistem ini disarankan agar dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis, penyimpanan berbasis cloud, serta perluasan implementasi pada ruang kelas lainnya agar cakupan pemantauan menjadi lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Jasim, N., & ALRkabi, H. (2022). Design and Implementation a Smart System for Monitoring the Electrical Energy based on the Internet of Things. *Wasit Journal of Engineering Sciences*, 10(2), 92–100. <https://doi.org/10.31185/ejuow.vol10.iss2.240>
- Asyari, H., Budi Santosa, P., Faila Sufa, M., Gunawan, D., Iqbal Hafidz, M., Elektro, T., Yani Tromol Pos, J. A., Kartasura, P., Daya, K., Geraldine, J., Ramiati, R., Dewi, R., Gunawan, G., Handayani, S., Zulfahri, Z., Setiawan, D., Marzuarman, M., Hidayat, K. M. W., Al-Faris, M. G., ... Priatna, W. (2025). Indonesian Journal of Education Berbasis IoT Dengan Algoritma Moving Average. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 18(1), 1077–1081. <https://doi.org/10.24269/mtkind.v18i1.9081>
- Atmanto, D. A., Nanditama, R. W., Suteddy, W., & Adiwilaga, A. (2025). Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani. *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol*, 11(2), 151–166. <https://doi.org/10.15575/telka.v11n2.151-166>
- Deniziak, S., Płaza, M., & Arcab, Ł. (2022). Approach for Designing Real-Time IoT Systems. *Electronics (Switzerland)*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/electronics11244120>
- Geraldine, J., Ramiati, R., & Dewi, R. (2024). Smart Light Electricity Automation and Monitoring System Based on the Internet of Things (IOT) on Campus Environment Prototype. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(2), 805–813. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v4i2.5082>
- Heri Andrianto. (2024). Platform Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 23(2), 199–212. <https://doi.org/10.31358/techne.v23i2.422>
- Muhtadi, M. Z. Z., Ranolat, S., & Pujiyanto. (2025). Sistem Monitoring Energi Listrik 3 Fase Berbasis IoT dan Firebase. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 12(2), 132–137. <https://doi.org/10.33795/elposys.v12i2.7206>
- Muslihi, M. T. (2025). Pengembangan dan Evaluasi Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT dengan Sensor PZEM-004T dan ESP8266. *Jurnal Fasilkom*, 15(1), 77–83. <https://doi.org/10.37859/jf.v15i1.8508>
- Orumwense, E. F., & Abo-Al-Ez, K. (2022). Internet of Things for smart energy systems: A review on its applications, challenges and future trends. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 7(1), 50–74. <https://doi.org/10.3934/electreng.2023004>
- Sanaris, A., & Suharjo, I. (2020). Prototype Alat Kendali Otomatis Penjemur Pakaian Menggunakan NodeMCU ESP32 Dan Telegram Bot Berbasis Internet of Things (IOT) Prototype Automatic Drying

Tool Using NodeMCU ESP32 and Telegram Bot Based on Internet of Things (IOT). *Journal of Information System and Artificial Intelligence*, 1(1), 17–24.