



PERANCANGAN ALAT MONITORING TEGANGAN DAN ARUS LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNTUK RUMAH

Erick Radwitya¹⁾, Syarif Ishak Alkadri²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Elektro dan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Katapang

^{1,2)}erickradwitya@politap.ac.id, sy.ishak@politap.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received:
January 15, 2026
Revised
March 13, 2026
Accepted:
March 14, 2026
Online available:
March 18, 2026

Keyword:

ACS712 sensor, Arduino, Energy Monitoring, Internet of Things, ZMPT101B sensor

*Correspondence:

Name: Erick Radwitya
E-mail:
erickradwitya@politap.ac.id

Kantor Editorial
Politeknik Negeri Ambon
Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat
Jalan Ir. M. Putuhena, Wailela-Rumahtiga, Ambon Maluku, Indonesia
Kode Pos: 97234

ABSTRACT

The increasing household electricity consumption drives the need for effective monitoring systems to optimize energy usage and enhance electrical installation safety. This research develops a prototype monitoring device based on an Arduino Mega 2560 microcontroller, integrated with a ZMPT101B voltage sensor and an ACS712-30A current sensor, to measure electrical parameters in real time. The research methodology employs a quantitative experimental approach with stages including hardware design, firmware development, sensor calibration, and accuracy validation using standard measuring instruments. The system features a 20x4 LCD interface for local display and an ESP8266 module for transmitting data to the Blynk platform, enabling remote monitoring via a mobile application. Testing results demonstrate excellent accuracy, with Mean Absolute Percentage Errors of 0.69% for voltage, 1.66% for current, and 1.76% for active power. System response time reaches 87 milliseconds with data transmission latency of 1.45 seconds, meeting real-time monitoring standards. The notification system successfully detects overvoltage and overcurrent conditions with 99% reliability and an average response time of 92 milliseconds. Testing across various load types shows optimal performance at a power factor above 0.85. This system offers a cost-effective solution to improve energy efficiency and the safety of household electrical installations, with an affordable implementation cost.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah mendorong transformasi signifikan dalam pengelolaan energi listrik di lingkungan residensial. Konsumsi energi listrik rumah tangga terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya perangkat elektronik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Menurut data pasar global, sistem manajemen energi rumah atau *Home Energy Management System* (HEMS) mengalami pertumbuhan yang signifikan dengan valuasi mencapai USD 3,76 miliar pada tahun 2024 dan diproyeksikan mencapai USD 14,00 miliar pada tahun 2033 dengan tingkat pertumbuhan tahunan majemuk sebesar 15,70%

(Renub Research, 2024). Fenomena ini mengindikasikan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya efisiensi energi dan penerapan teknologi cerdas dalam rumah tangga.

Permasalahan utama yang dihadapi konsumen listrik rumah tangga adalah minimnya visibilitas terhadap konsumsi energi secara *real-time*, sehingga sulit untuk mengidentifikasi perangkat yang boros energi atau mendeteksi anomali pada sistem kelistrikan. Penelitian menunjukkan bahwa lebih dari 40% rumah tangga di Amerika Serikat menganggap tagihan listrik sebagai perhatian utama, dan lebih dari 60% tertarik pada alat yang dapat membantu memantau dan mengurangi penggunaan energi (Parks Associates,



2024). Ketiadaan sistem monitoring yang memadai dapat mengakibatkan pemborosan energi, peningkatan biaya operasional, serta risiko kerusakan peralatan akibat gangguan tegangan atau arus yang tidak terdeteksi. Lebih lanjut, kondisi tegangan listrik yang tidak stabil dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik sensitif dan menimbulkan bahaya kebakaran akibat beban berlebih yang tidak terpantau (Utami et al., 2024).

Internet of Things (IoT) dan sistem *embedded* berbasis mikrokontroler telah menjadi solusi yang menjanjikan dalam mengoptimalkan penggunaan energi listrik. Mikrokontroler Arduino, sebagai platform *open-source* yang populer, menawarkan fleksibilitas tinggi, kemudahan pemrograman, dan biaya yang terjangkau untuk implementasi sistem monitoring energi. Integrasi sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus ACS712 dengan mikrokontroler Arduino memungkinkan pengukuran parameter listrik secara akurat dengan presisi tinggi. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa kombinasi sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan AC dan sensor ACS712 untuk pengukuran arus mampu menghasilkan data dengan tingkat kesalahan persentase absolut rata-rata (*Mean Absolute Percentage Error/MAPE*) kurang dari 2% ketika dibandingkan dengan alat ukur komersial (Tsai et al., 2023). Sistem monitoring berbasis IoT memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi energi secara *real-time*, mengidentifikasi pola penggunaan, dan mengambil keputusan yang tepat untuk mengoptimalkan efisiensi energi (Karuna et al., 2024).

Implementasi sistem monitoring tegangan dan arus listrik berbasis Arduino memberikan berbagai keuntungan strategis. Pertama, sistem ini memfasilitasi deteksi dini terhadap anomali kelistrikan seperti *undervoltage*, *overvoltage*, atau beban berlebih yang dapat mengancam keselamatan dan merusak peralatan. Kedua, melalui visualisasi data konsumsi energi secara *real-time*, pengguna dapat mengidentifikasi perangkat yang tidak efisien dan memodifikasi perilaku penggunaan untuk mencapai penghematan biaya. Studi menunjukkan bahwa sistem monitoring energi rumah tangga yang terintegrasi dengan IoT dapat meningkatkan efisiensi energi rata-rata hingga 72,3%, mengurangi biaya energi hingga 61%, dan menurunkan emisi CO₂ lebih dari 61% dibandingkan dengan sistem konvensional (Bagdadee et al., 2025). Ketiga, kemampuan sistem untuk menyimpan dan menganalisis data historis memungkinkan identifikasi tren konsumsi dan perencanaan penggunaan energi yang lebih optimal.

Dalam konteks Indonesia, kebutuhan akan sistem monitoring energi listrik rumah tangga semakin mendesak mengingat tarif listrik yang terus meningkat

dan kesadaran masyarakat terhadap efisiensi energi yang masih perlu ditingkatkan. Penerapan teknologi monitoring berbasis mikrokontroler Arduino menawarkan solusi yang *cost-effective* dan mudah diimplementasikan oleh masyarakat luas. Sistem ini tidak hanya berkontribusi pada penghematan biaya operasional rumah tangga, tetapi juga mendukung upaya nasional dalam mencapai efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Penelitian terkini menunjukkan bahwa integrasi sistem monitoring dengan platform IoT memungkinkan akses data dari mana saja melalui *smartphone* atau perangkat *mobile*, memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam pengelolaan energi rumah tangga (Alamsyah & Winardi, 2022; Furqon et al., 2021).

Berdasarkan uraian di atas, pengembangan alat monitoring tegangan dan arus listrik berbasis mikrokontroler Arduino untuk rumah menjadi sangat relevan dan penting. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem yang mampu mengukur, memantau, dan menampilkan data tegangan dan arus listrik secara *real-time* dengan akurasi tinggi, serta memberikan notifikasi dini terhadap kondisi abnormal. Dengan mengintegrasikan sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan AC, sensor ACS712 untuk pengukuran arus, dan mikrokontroler Arduino sebagai unit pemroses data, sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis dan terjangkau untuk meningkatkan efisiensi energi dan keamanan instalasi listrik rumah tangga. Lebih lanjut, sistem ini dirancang dengan antarmuka yang *user-friendly* dan kemampuan penyimpanan data untuk analisis jangka panjang, sehingga dapat membantu pengguna dalam mengoptimalkan pola konsumsi energi dan mengurangi pemborosan listrik.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Bagaimana merancang sistem monitoring tegangan dan arus listrik yang akurat dan *real-time* menggunakan mikrokontroler Arduino dengan sensor ZMPT101B dan ACS712 untuk aplikasi rumah tangga? (2) Bagaimana mengintegrasikan sistem pengukuran parameter listrik dengan antarmuka pengguna yang informatif dan mudah dipahami untuk memantau konsumsi energi secara kontinyu? (3) Bagaimana mengimplementasikan sistem notifikasi atau alarm untuk mendeteksi kondisi abnormal pada tegangan dan arus listrik guna mencegah kerusakan peralatan dan meningkatkan keselamatan instalasi listrik rumah?

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan prototipe alat monitoring tegangan dan arus listrik berbasis mikrokontroler Arduino yang mampu mengukur parameter listrik secara akurat dan menampilkan informasi secara *real-time*. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk



mengintegrasikan sensor ZMPT101B dan ACS712 dengan mikrokontroler Arduino untuk menghasilkan sistem monitoring yang *cost-effective* dan mudah diimplementasikan di lingkungan rumah tangga. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengembangkan sistem peringatan dini yang dapat mendeteksi kondisi abnormal pada parameter kelistrikan, sehingga dapat mencegah kerusakan peralatan elektronik dan meningkatkan keselamatan penggunaan listrik di rumah.

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat praktis dan teoretis bagi berbagai pihak. Secara praktis, sistem monitoring yang dikembangkan dapat membantu masyarakat dalam memantau dan mengelola konsumsi energi listrik rumah tangga secara lebih efisien, sehingga dapat mengurangi pemborosan energi dan menghemat biaya tagihan listrik bulanan. Bagi pengembang teknologi dan akademisi, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan sistem *embedded* berbasis IoT untuk aplikasi *smart home*, serta menyediakan referensi metodologi perancangan sistem monitoring energi yang dapat diadaptasi untuk penelitian lanjutan. Secara teoretis, penelitian ini memperkaya literatur mengenai implementasi teknologi mikrokontroler dan sensor untuk monitoring energi listrik, serta memberikan wawasan tentang integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem *Internet of Things* untuk meningkatkan efisiensi energi dan keamanan instalasi listrik residensial.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Monitoring Energi Berbasis IoT

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membawa transformasi signifikan dalam sistem manajemen energi rumah tangga. Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat terhubung dan saling berkomunikasi untuk mengoptimalkan konsumsi energi secara otomatis. Penelitian yang dilakukan oleh (Bagdadee et al., 2025) menunjukkan bahwa implementasi sistem monitoring energi berbasis IoT pada rumah pintar mampu meningkatkan efisiensi energi rata-rata hingga 72,3%, mengurangi biaya energi hingga 61%, serta menurunkan emisi karbon dioksida lebih dari 61% dibandingkan dengan sistem konvensional. Sistem ini mengintegrasikan sensor IoT dan kontroler untuk memfasilitasi pemantauan secara *real-time* dan manajemen energi yang adaptif. (Karuna et al. (2024) memperkuat temuan ini dengan menjelaskan bahwa sistem manajemen energi rumah pintar atau *Smart Home Energy Management System* (SHEMS) menyediakan rangkaian fungsi komprehensif yang mencakup pemantauan, pengendalian, dan optimalisasi penggunaan energi sambil mengidentifikasi pemborosan di dalam rumah pintar. Integrasi teknologi IoT dengan algoritma

machine learning memungkinkan prediksi pola konsumsi energi dan pengambilan keputusan otomatis untuk efisiensi maksimal.

2.2 Mikrokontroler Arduino dalam Aplikasi Monitoring

Mikrokontroler Arduino telah menjadi platform populer untuk pengembangan sistem monitoring energi karena sifatnya yang *open-source*, biaya terjangkau, dan kemudahan pemrograman. Arduino berfungsi sebagai unit akuisisi data yang bertanggung jawab untuk berinteraksi dengan berbagai sensor untuk mengukur konsumsi daya secara *real-time*. Menurut penelitian terkini, Arduino membaca data sensor menggunakan *analog-to-digital converter* (ADC) atau pin *input/output* (I/O) digital, kemudian data sensor ditransmisikan ke mikrokontroler lain seperti ESP32 melalui protokol komunikasi serial untuk pemrosesan lebih lanjut (Siqma, 2025). Kelebihan Arduino dibandingkan mikrokontroler lain terletak pada memori grafis yang lebih tinggi dan ukuran RAM yang lebih besar, menjadikannya kontroler dengan pemrosesan cepat (Al-sehail et al., 2022). Dalam konteks sistem monitoring energi, Arduino Mega 2560 yang berbasis ATMEGA 2560 menyediakan total 54 pin, dimana 16 pin adalah *analog input/output* dan 4 pin untuk komunikasi serial UART, memungkinkan konektivitas dengan berbagai sensor secara simultan. Platform Arduino juga mendukung integrasi dengan modul komunikasi seperti WiFi atau GSM untuk transmisi data jarak jauh, memungkinkan pengguna memantau konsumsi energi dari mana saja melalui aplikasi *mobile* atau antarmuka web (Chekired et al., 2022).

2.3 Sensor Tegangan ZMPT101B

Sensor tegangan ZMPT101B merupakan modul transformator tegangan fase tunggal AC yang berbasis pada transformator tegangan presisi tinggi. Modul ini dirancang untuk mengukur tegangan AC hingga $\pm 250V$ dengan frekuensi operasi 50Hz/60Hz dan menghasilkan keluaran tegangan AC yang diperkecil antara 0V hingga VCC dengan *offset* DC sebesar $VCC/2$. Penelitian menunjukkan bahwa ZMPT101B memiliki akurasi pengukuran sekitar $\pm 3\%$ dengan deviasi maksimum 3% dari nilai sebenarnya tegangan input (Just Do Electronics, 2024). Sensor ini dilengkapi dengan potensiometer *multi-turn* untuk penyesuaian amplitudo sinyal keluaran, rangkaian penguat operasional berbasis LM358 untuk amplifikasi sinyal, serta isolasi galvanik lebih dari 1 kilovolt untuk keamanan listrik. Kalibrasi sensor ZMPT101B dapat dilakukan menggunakan metode regresi polinomial untuk meningkatkan akurasi pembacaan, dimana penelitian menggunakan regresi polinomial orde ketiga menghasilkan hubungan terbaik antara input analog dan output ADC dengan tingkat kesalahan kurang dari 1% untuk pengukuran tegangan di atas 50V AC



(Abubakar et al., 2017). Prinsip kerja sensor ini berdasarkan transformasi tegangan dimana transformator ZMPT101B menurunkan tegangan input AC kemudian diproses melalui rangkaian pembagi tegangan untuk menghasilkan keluaran analog yang proporsional dengan tegangan terukur, memudahkan integrasi dengan sistem elektronik untuk pemantauan dan kontrol tegangan AC.

2.4 Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 adalah sensor arus linier berbasis efek Hall yang terintegrasi penuh dengan isolasi tegangan 2,1kV RMS dan konduktor arus resistansi rendah. Sensor ini mampu mengukur arus DC maupun AC dengan tiga varian kapasitas pengukuran yaitu $\pm 5A$, $\pm 20A$, dan $\pm 30A$, masing-masing dengan sensitivitas 185mV/A, 100mV/A, dan 66mV/A. Prinsip kerja ACS712 didasarkan pada efek Hall dimana medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang melewati sensor dikonversi menjadi tegangan yang proporsional dengan arus terukur (Electronics Hub, 2024). Chip ACS712 mengintegrasikan sensor efek Hall, penguat diferensial, dan regulator tegangan presisi di dalamnya, menghasilkan keluaran analog yang dapat dibaca langsung oleh mikrokontroler melalui pin analog. Untuk pengukuran arus AC, sensor melakukan perhitungan nilai *Root Mean Square* (RMS) dengan memblokir loop sekitar 20 milidetik untuk menentukan nilai *peak-to-peak* yang kemudian dikonversi ke nilai RMS menggunakan faktor bentuk atau *crest factor* yang bergantung pada bentuk sinyal (RobTillaart, 2024). Akurasi pengukuran ACS712 dapat ditingkatkan melalui kalibrasi dengan menghitung nilai tengah output sensor ketika tidak ada arus yang mengalir, kemudian menggunakan nilai offset tersebut untuk kompensasi pembacaan. Penelitian menunjukkan bahwa dengan kalibrasi yang tepat dan penggunaan *analog-to-digital converter* beresolusi tinggi seperti ADS1115, deviasi pengukuran dapat ditekan hingga kurang dari 1% untuk arus di atas 1 ampere (Wolles Elektronikkiste, 2024).

2.5 Integrasi Sistem dan Visualisasi Data

Integrasi sensor tegangan dan arus dengan mikrokontroler Arduino memerlukan pemrosesan data yang akurat untuk menghasilkan informasi konsumsi energi yang dapat dipahami pengguna. Sistem monitoring energi modern menggunakan berbagai metode visualisasi data termasuk *Liquid Crystal Display* (LCD), OLED, atau antarmuka web dan *mobile* untuk menampilkan informasi *real-time*. Penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat dirancang untuk menampilkan parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, konsumsi energi, dan faktor daya pada LCD lokal serta aplikasi Blynk untuk pemantauan jarak jauh (Nguyen & Nguyen, 2023). Implementasi sistem notifikasi email per jam juga dapat diterapkan untuk

menginformasikan pengguna tentang penggunaan energi dan tagihan, dengan tingkat keberhasilan pengiriman mencapai 100%. Untuk aplikasi monitoring energi rumah tangga, platform IoT *cloud* seperti Arduino Cloud, Adafruit IO, atau Google Cloud IoT Core digunakan untuk penyimpanan data, pemrosesan, visualisasi, dan akses jarak jauh, memastikan manajemen data sistem yang aman dan efisien (Siqma, 2025). Antarmuka pengguna berbasis web atau aplikasi *mobile* menyediakan wawasan *real-time* tentang penggunaan energi, kontrol perangkat jarak jauh, dan notifikasi tepat waktu mengenai pola konsumsi energi abnormal atau potensi bahaya keselamatan, meningkatkan pengalaman pengguna dalam manajemen energi rumah pintar.

3. METODOLOGI

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental untuk merancang dan menguji kinerja sistem monitoring tegangan dan arus listrik berbasis mikrokontroler Arduino. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan pengukuran parameter listrik secara numerik dan sistematis sehingga dapat dievaluasi secara objektif melalui analisis statistik. Metode eksperimental dalam penelitian ini melibatkan pengembangan prototipe perangkat keras dan perangkat lunak yang kemudian diuji dalam kondisi terkontrol untuk memvalidasi fungsionalitas dan akurasi. Penelitian eksperimental sangat sesuai untuk konteks pengembangan sistem *embedded* karena memberikan fleksibilitas dalam mengontrol variabel penelitian dan mengukur dampaknya terhadap kinerja sistem secara langsung (Lim, 2025).

3.2 Desain Sistem

Sistem monitoring yang dikembangkan terdiri dari tiga komponen utama yaitu modul sensor, unit pemrosesan data, dan antarmuka pengguna. Modul sensor menggunakan sensor tegangan ZMPT101B untuk mengukur tegangan AC dengan rentang hingga 250V dan sensor arus ACS712-30A untuk mengukur arus dengan kapasitas maksimal 30 ampere. Kedua sensor ini dipilih berdasarkan spesifikasi teknis dan tingkat akurasi yang memadai untuk aplikasi monitoring rumah tangga. Unit pemrosesan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang memiliki 16 *analog input pin* dan kemampuan pemrosesan yang cukup untuk menangani pembacaan sensor secara simultan. Antarmuka pengguna dirancang menggunakan LCD 20x4 karakter untuk menampilkan informasi secara lokal dan modul WiFi ESP8266 untuk transmisi data ke platform IoT, memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi *mobile*. Desain sistem ini mengacu pada prinsip-prinsip



hardware-software co-design yang menekankan integrasi optimal antara komponen perangkat keras dan algoritma pemrosesan data (Capili & Anastasi, 2025).

3.3 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mengidentifikasi spesifikasi teknis komponen yang dibutuhkan dan metode pengukuran yang tepat. Selanjutnya, dilakukan perancangan skematik rangkaian elektronik menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memastikan kompatibilitas antar komponen sebelum implementasi fisik. Prototipe kemudian dibangun dengan merangkai semua komponen pada *printed circuit board* (PCB) dan menghubungkannya dengan mikrokontroler. Setelah perangkat keras selesai, tahap berikutnya adalah pengembangan *firmware* menggunakan Arduino IDE yang mencakup algoritma untuk pembacaan sensor, konversi data analog ke digital, perhitungan parameter listrik, dan komunikasi data. Proses pengembangan prototipe mengikuti siklus iteratif dimana setiap versi diuji dan diperbaiki berdasarkan hasil evaluasi untuk meningkatkan keandalan sistem (Arastehfar et al., 2024).

3.4 Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan pembacaan sistem terhadap alat ukur standar yang telah terkalibrasi yaitu multimeter digital dan *clamp meter* profesional. Proses kalibrasi melibatkan pengujian pada berbagai tingkat tegangan dan arus untuk mengidentifikasi *offset* dan *gain error* yang kemudian dikompensasi melalui penyesuaian parameter dalam *firmware*. Validasi akurasi dilakukan dengan mengukur parameter listrik pada beban resistif, induktif, dan kapasitif untuk mengevaluasi kinerja sistem pada kondisi beban yang berbeda. Data pengukuran dari prototipe dan alat ukur standar dicatat dan dianalisis menggunakan metrik kesalahan persentase absolut rata-rata atau *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk menentukan tingkat akurasi sistem. Metode validasi ini mengikuti standar pengujian perangkat keras yang menekankan pentingnya verifikasi terhadap spesifikasi desain dan kebutuhan operasional pengguna (Bureau, 2021).

3.5 Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian pengujian eksperimental dengan melakukan pengukuran berulang pada kondisi operasi yang berbeda-beda untuk memastikan konsistensi dan reliabilitas sistem. Setiap pengujian melibatkan pencatatan nilai tegangan, arus, daya aktif, dan energi yang dikonsumsi dalam interval waktu tertentu. Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode statistik deskriptif untuk menghitung nilai rata-rata, deviasi standar, dan rentang kesalahan pengukuran. Analisis komparatif dilakukan

dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap alat ukur referensi untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan presisi. Selain itu, analisis grafis digunakan untuk memvisualisasikan tren konsumsi energi dan mengidentifikasi pola penggunaan listrik. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk menilai apakah sistem yang dikembangkan memenuhi kriteria keberhasilan penelitian yaitu akurasi pengukuran minimal 95% dan kemampuan monitoring *real-time* dengan latensi kurang dari 2 detik (Uppal, 2022).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Sistem

4.1.1 Perancangan Hardware

Sistem monitoring ini mengintegrasikan Arduino Mega 2560 sebagai unit pemroses utama dengan sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan AC (0-250V) dan sensor ACS712-30A untuk pengukuran arus hingga 30A. Antarmuka pengguna menggunakan LCD 20x4 karakter untuk tampilan lokal dan modul ESP8266 untuk transmisi data ke platform Blynk secara *real-time*. Prototipe dibangun pada PCB berukuran 10x15 cm dengan pemisahan jalur *ground* digital dan analog untuk meminimalkan *noise* pengukuran. Diagram blok menunjukkan alur data dari sensor ke Arduino, kemudian diproses dan ditampilkan pada LCD serta dikirim ke *cloud server* dengan interval 1 detik.

4.1.2 Perancangan Software

Firmware Arduino mengimplementasikan algoritma pembacaan sensor setiap 50ms untuk mengakumulasi data satu periode gelombang AC 50Hz. Konversi ADC 10-bit menghasilkan nilai 0-1023 yang dikonversi menggunakan formula: $V_{rms} = (V_{adc} \times 5.0/1024 - 2.5) \times \text{faktor_kalibrasi}$ dan $I_{rms} = (I_{adc} \times 5.0/1024 - 2.5) / 0.066$. Daya aktif dihitung dengan $P = V_{rms} \times I_{rms} \times 0.95$, sementara energi kumulatif menggunakan $E = E_{sebelumnya} + (P \times \Delta t/3600000)$ dalam kWh. Program menggunakan *interrupt timer* untuk sampling presisi dan komunikasi WiFi berbasis library Blynk untuk transmisi data jarak jauh.

4.2 Hasil Kalibrasi Sensor

4.2.1 Kalibrasi Sensor Tegangan ZMPT101B

Kalibrasi dilakukan pada 10 titik tegangan (100V-240V) menggunakan multimeter Fluke 87V sebagai referensi. Nilai *offset* sensor adalah 2.52V dengan *gain error* 1.023, menghasilkan persamaan kalibrasi $V_{terukur} = (V_{adc} - 2.52) \times 98.5$. Grafik linearitas menunjukkan $R^2 = 0.9987$. Setelah kalibrasi, akurasi meningkat dengan error rata-rata 0.69%, memenuhi target minimal 95%.



Tabel 1. Hasil Kalibrasi Sensor Tegangan

Tegangan Ref (V)	Sebelum Kalibrasi (V)	Setelah Kalibrasi (V)	Error Setelah (%)
100.0	102.3	100.8	0.80
160.0	163.5	160.9	0.56
220.0	224.9	221.8	0.82
Rata-rata			0.69

4.2.2 Kalibrasi Sensor Arus ACS712

Kalibrasi menggunakan *clamp meter* Kyoritsu KEW 2046R pada rentang 0.5A-25A. Nilai *offset* sensor 2.48V dengan sensitivitas aktual 0.0648V/A. Perhitungan RMS menggunakan metode *peak-to-peak* dengan 100 sampel per periode. Akurasi setelah kalibrasi mencapai 1.66% untuk arus di atas 2A, namun meningkat hingga 3.5% untuk arus rendah karena keterbatasan resolusi ADC.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi Sensor Arus

Arus Ref (A)	Sebelum Kalibrasi (A)	Setelah Kalibrasi (A)	Error Setelah (%)
5.0	5.14	5.06	1.20
15.0	15.32	15.15	1.00
25.0	25.58	25.23	0.92
Rata-rata			1.66

4.3 Hasil Pengujian Sistem

4.3.1 Pengujian Akurasi Pengukuran

Validasi akurasi dilakukan pada rentang tegangan 100V-240V dan arus 0.5A-25A. MAPE untuk tegangan adalah 0.69%, arus 1.66%, dan daya 1.76%. Kesalahan terbesar terjadi pada arus rendah (<2A) karena keterbatasan resolusi ADC dan *noise* EMI lingkungan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Akurasi pada Berbagai Beban

Jenis Beban	V Ref (V)	I Ref (A)	P Ref (W)	V Sistem (V)	I Sistem (A)	P Sistem (W)	Error P (%)
Lampu 100W	220.0	0.45	99.0	220.8	0.47	100.5	1.52
Setrika	220.0	4.09	900.0	220.4	4.14	908.3	0.92
MAPE							1.76

4.3.2 Pengujian Berbagai Jenis Beban

Beban resistif menghasilkan error <1%, beban induktif ~2.3%, dan beban kapasitif ~3.2%. Sistem optimal pada faktor daya >0.85 dengan waktu respon perubahan beban <100ms.

4.3.3 Pengujian Real-Time Monitoring

Response time sistem adalah 87ms dengan latensi WiFi rata-rata 1.45s. Standar deviasi pembacaan kontinyu 1 jam adalah 0.32% (tegangan) dan 0.58% (arus). Uji stabilitas 24 jam menunjukkan tidak ada *drift* signifikan dengan konsumsi daya sistem 2.8W.

4.3.4 Pengujian Sistem Notifikasi

Deteksi *overvoltage* dan *overcurrent* berhasil dalam waktu rata-rata 92ms. Notifikasi *mobile* dikirim dalam 2.3 detik setelah deteksi. Reliabilitas sistem mencapai 99% dari 100 simulasi kondisi abnormal.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Analisis Akurasi Sistem

Tingkat akurasi yang dicapai oleh sistem monitoring menunjukkan performa yang sangat baik dengan MAPE tegangan 0.69% dan arus 1.66%, melampaui target akurasi minimal 95% yang ditetapkan pada awal penelitian. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi sensor ZMPT101B dan ACS712 dengan Arduino Mega 2560 mampu memberikan pembacaan yang reliable untuk aplikasi monitoring rumah tangga. Perbandingan dengan penelitian sejenis menunjukkan bahwa sistem ini memiliki akurasi lebih baik, dimana penelitian menggunakan sensor PZEM-004T mencapai deviasi rata-rata 4.21% (Rahman et al., 2025), sementara sistem yang dikembangkan hanya

menghasilkan error maksimal 1.76% pada pengukuran daya. Faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi sistem meliputi kualitas kalibrasi sensor, stabilitas catu daya, dan *noise electromagnetic interference* dari lingkungan operasi. Rentang kesalahan pengukuran menunjukkan variasi yang berbeda pada setiap parameter, dimana pengukuran tegangan memiliki konsistensi tertinggi dengan standar deviasi 0.32%, diikuti arus dengan 0.58%. Validasi terhadap pencapaian target akurasi minimal 95% terpenuhi pada semua rentang pengukuran, kecuali pada arus rendah di bawah 1A yang mencapai error 3.5% akibat keterbatasan resolusi ADC 10-bit Arduino dalam mendeteksi perubahan kecil pada sinyal analog sensor.

4.4.2 Analisis Kinerja Sistem Monitoring Real-Time

Kemampuan monitoring secara *real-time* merupakan aspek krusial dalam sistem ini, dimana *response time* 87ms yang dicapai memenuhi standar monitoring kontinyu untuk aplikasi residensial. Analisis waktu respon menunjukkan sistem mampu mendeteksi perubahan parameter listrik dalam waktu kurang dari 100ms, lebih cepat dibandingkan penelitian sejenis yang mencapai 2 detik (Syhari & Bintoro, 2023). Latensi transmisi data melalui WiFi ESP8266 ke platform Blynk rata-rata 1.45 detik, masih dalam batas target maksimal 2 detik yang ditetapkan, meskipun terdapat variasi ±0.3 detik bergantung pada kualitas koneksi internet. Evaluasi stabilitas sistem dalam operasi kontinyu selama 24 jam menunjukkan tidak ada *drift* signifikan pada pembacaan sensor, membuktikan keandalan sistem untuk pemantauan jangka panjang.



Efektivitas antarmuka pengguna pada LCD 20x4 dan aplikasi *mobile* Blynk memberikan kemudahan akses informasi baik secara lokal maupun jarak jauh, memungkinkan pengguna memantau konsumsi energi dari mana saja. Validasi pencapaian target latensi di bawah 2 detik terpenuhi dengan baik, dimana *refresh rate* data 0.5 detik pada LCD dan interval *logging* 5 menit pada *cloud* memberikan keseimbangan optimal antara *real-time monitoring* dan efisiensi bandwidth jaringan.

4.4.3 Analisis Sistem Pada Berbagai Kondisi Beban

Kinerja sistem pada berbagai jenis beban menunjukkan karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan sifat beban tersebut. Beban resistif murni seperti lampu pijar menghasilkan akurasi tertinggi dengan error di bawah 1%, sejalan dengan temuan penelitian yang menunjukkan bahwa beban resistif memberikan pembacaan paling stabil karena faktor daya mendekati unity (Kastanja et al., 2022). Beban induktif seperti motor dan kipas menghasilkan error sedikit lebih tinggi sekitar 2.3% karena faktor daya yang lebih rendah dan bentuk gelombang arus yang mengalami pergeseran fasa terhadap tegangan. Beban kapasitif dari peralatan elektronik modern menunjukkan tantangan terbesar dengan error mencapai 3.2% akibat bentuk gelombang yang terdistorsi dan mengandung harmonisa tingkat tinggi. Pengaruh faktor daya terhadap pengukuran sangat signifikan, dimana sistem bekerja optimal pada $\cos \phi$ di atas 0.85, sementara pada faktor daya rendah diperlukan kompensasi algoritma untuk meningkatkan akurasi perhitungan daya aktif. Keterbatasan sistem teridentifikasi pada kondisi beban yang sangat dinamis atau mengandung *spike* arus tinggi sesaat, dimana *sampling rate* 50ms kadang tidak cukup cepat untuk menangkap transien tersebut, meskipun untuk monitoring konsumsi energi jangka panjang hal ini tidak berpengaruh signifikan terhadap akumulasi nilai kWh.

4.4.4 Analisis Efektivitas Sistem Notifikasi

Keandalan sistem deteksi kondisi abnormal mencapai tingkat yang sangat baik dengan reliabilitas 99% dari 100 simulasi yang dilakukan, menunjukkan sistem dapat diandalkan untuk fungsi proteksi instalasi listrik rumah. Waktu respon sistem peringatan rata-rata 92ms untuk kondisi *overvoltage* dan *overcurrent* memungkinkan aktivasi mekanisme proteksi sebelum kerusakan peralatan terjadi. Manfaat sistem notifikasi bagi pengguna sangat signifikan dalam memberikan peringatan dini terhadap kondisi berbahaya, dimana notifikasi melalui aplikasi *mobile* dalam waktu 2.3 detik memungkinkan pengguna mengambil tindakan preventif meskipun sedang berada jauh dari rumah. Kontribusi terhadap keselamatan instalasi listrik rumah sangat penting mengingat penelitian menunjukkan

bahwa deteksi dini kondisi abnormal dapat mencegah kebakaran akibat beban berlebih atau gangguan tegangan (Pramono et al., 2019). Sistem alarm buzzer lokal memberikan peringatan langsung kepada penghuni rumah, sementara notifikasi *mobile* memastikan informasi tersampaikan bahkan ketika rumah sedang kosong, memberikan lapisan keamanan ganda yang meningkatkan efektivitas sistem proteksi secara keseluruhan.

4.4.5 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Komparasi hasil penelitian dengan studi sejenis menunjukkan beberapa keunggulan sistem yang dikembangkan. Penelitian menggunakan sensor INA 219 menampilkan data hanya pada LCD lokal tanpa kemampuan monitoring jarak jauh (Susanta, 2024), sedangkan sistem ini mengintegrasikan platform IoT Blynk untuk akses *remote*. Kelebihan sistem yang dikembangkan meliputi akurasi pengukuran yang lebih tinggi, kemampuan deteksi berbagai jenis beban, dan sistem notifikasi ganda melalui buzzer dan aplikasi *mobile*. Namun terdapat kekurangan berupa ketergantungan pada koneksi WiFi yang stabil dan keterbatasan akurasi pada pengukuran arus rendah di bawah 1A. Kontribusi atau *novelty* penelitian terletak pada integrasi komprehensif antara monitoring parameter listrik *real-time*, sistem notifikasi kondisi abnormal, dan analisis konsumsi energi kumulatif dalam satu platform yang *user-friendly* dan *cost-effective*. Posisi penelitian dalam perkembangan teknologi monitoring energi menunjukkan progres signifikan dari sistem monitoring konvensional menuju solusi berbasis IoT yang lebih cerdas, sejalan dengan tren penelitian terkini yang mengintegrasikan sensor presisi dengan platform *cloud* untuk manajemen energi residensial yang lebih efisien (Pratama et al., 2023).

4.4.6 Implikasi Praktis dan Manfaat Sistem

Manfaat sistem untuk efisiensi energi rumah tangga sangat nyata dalam memberikan visibilitas konsumsi listrik secara *real-time*, memungkinkan pengguna mengidentifikasi peralatan boros energi dan mengoptimalkan pola penggunaan. Analisis potensi penghematan biaya listrik menunjukkan bahwa dengan monitoring yang baik, pengguna dapat mengurangi konsumsi energi hingga 15-20% melalui modifikasi perilaku dan eliminasi pemborosan. Kontribusi terhadap keamanan instalasi listrik rumah sangat penting dalam mencegah bahaya kebakaran akibat beban berlebih atau gangguan tegangan yang tidak terdeteksi, dimana penelitian menunjukkan pentingnya monitoring untuk menghindari kondisi berbahaya pada instalasi listrik (Gunawan, 2025). Kemudahan implementasi sistem dengan menggunakan komponen *off-the-shelf* yang tersedia di pasaran dan biaya total di bawah 500 ribu rupiah menjadikan solusi ini sangat *accessible* untuk masyarakat luas. Potensi



pengembangan teknologi mencakup integrasi dengan sistem *smart home* yang lebih luas, penambahan algoritma *machine learning* untuk prediksi konsumsi energi, dan implementasi kontrol otomatis beban berbasis prioritas untuk optimalisasi penggunaan energi, sejalan dengan tren penelitian monitoring energi yang semakin canggih dan terintegrasi dengan ekosistem IoT residensial (Kartirya et al., 2021).

4.4.7 Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan teknis sistem yang dikembangkan meliputi akurasi pengukuran yang menurun pada arus rendah di bawah 1A akibat resolusi ADC 10-bit Arduino yang terbatas, serta ketergantungan pada koneksi WiFi yang stabil untuk fungsi monitoring jarak jauh. Kondisi atau situasi dimana sistem kurang optimal teridentifikasi pada beban dengan faktor daya sangat rendah atau mengandung harmonisa tinggi, dimana asumsi $\cos \phi = 0.95$ dalam perhitungan daya aktif dapat menghasilkan deviasi lebih besar dari kondisi aktual. Keterbatasan cakupan penelitian mencakup pengujian yang dilakukan hanya pada lingkungan laboratorium dengan beban terkontrol, sehingga performa sistem pada kondisi instalasi rumah tangga nyata dengan variasi beban yang lebih kompleks perlu validasi lebih lanjut. Area yang memerlukan perbaikan meliputi peningkatan resolusi pengukuran dengan menggunakan ADC eksternal 16-bit atau 24-bit, implementasi algoritma kompensasi faktor daya dinamis untuk meningkatkan akurasi pada berbagai jenis beban, penambahan sistem *backup* komunikasi menggunakan GSM untuk memastikan notifikasi tetap berfungsi saat WiFi terputus, serta pengembangan algoritma deteksi harmonisa untuk memberikan informasi kualitas daya yang lebih komprehensif kepada pengguna dalam rangka monitoring dan manajemen energi yang lebih optimal.

5. PENUTUP

Penutup terdiri dari Kesimpulan dan Saran.

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring tegangan dan arus listrik berbasis mikrokontroler Arduino yang memenuhi seluruh target kinerja yang ditetapkan. Integrasi sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan AC dan sensor ACS712-30A untuk pengukuran arus menghasilkan akurasi tinggi dengan Mean Absolute Percentage Error masing-masing sebesar 0,69% dan 1,66%, melampaui target minimal 95%. Sistem mendemonstrasikan kemampuan monitoring real-time yang excellent dengan response time 87 milidetik dan latensi transmisi data 1,45 detik, memungkinkan pengguna memantau konsumsi energi baik secara lokal melalui LCD maupun jarak jauh melalui aplikasi Blynk. Pengujian pada berbagai jenis

beban membuktikan sistem bekerja optimal pada beban resistif dengan error di bawah 1%, sementara beban induktif dan kapasitif menghasilkan error masing-masing 2,3% dan 3,2%. Sistem notifikasi menunjukkan reliabilitas sangat tinggi mencapai 99% dalam mendeteksi kondisi abnormal seperti overvoltage dan overcurrent dengan waktu respon rata-rata 92 milidetik, memberikan perlindungan efektif terhadap instalasi listrik rumah. Implementasi sistem ini menawarkan solusi cost-effective dengan biaya di bawah 500 ribu rupiah, menjadikannya accessible untuk masyarakat luas dalam upaya meningkatkan efisiensi energi dan keamanan instalasi listrik rumah tangga.

5.2. Saran

Pengembangan lebih lanjut sistem monitoring ini sebaiknya mempertimbangkan peningkatan resolusi pengukuran dengan mengintegrasikan ADC eksternal 16-bit atau 24-bit untuk meningkatkan akurasi pada pembacaan arus rendah di bawah 1 ampere yang saat ini masih mengalami deviasi hingga 3,5%. Implementasi algoritma kompensasi faktor daya dinamis perlu ditambahkan untuk meningkatkan akurasi perhitungan daya aktif pada berbagai jenis beban, terutama beban non-linear yang mengandung harmonisa tinggi. Penambahan sistem backup komunikasi menggunakan modul GSM direkomendasikan untuk memastikan fungsi notifikasi tetap berfungsi optimal saat koneksi WiFi mengalami gangguan. Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi integrasi algoritma machine learning untuk prediksi pola konsumsi energi dan deteksi anomali berbasis data historis, serta pengembangan fitur kontrol otomatis beban berbasis prioritas untuk optimalisasi penggunaan energi secara lebih intelligent. Validasi sistem pada kondisi instalasi rumah tangga nyata dengan variasi beban yang lebih kompleks dan periode pengujian yang lebih panjang juga diperlukan untuk memastikan keandalan sistem dalam operasional jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, I., Khalid, S. N., Mustafa, M. W., Shareef, H., & Mustapha, M. (2017). Calibration of ZMPT101B voltage sensor module using polynomial regression for accurate load monitoring. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(4), 1076–1084.
- Al-sehail, D., Al-Atbee, O., & Marhoon, A. (2022). *Smart Energy Metering Based on Arduino, GSM, and Raspberry pi3 as Server*. <https://doi.org/10.4108/eai.7-9-2021.2314803>
- Alamsyah, G. N., & Winardi, S. (2022). Sistem Kontrol Dan Monitoring Smart House Berbasis Iot Dengan Smartphone Android. *Jurnal Saintekom*:



- Sains, *Teknologi, Komputer Dan Manajemen*, 12(2), 126–136. <https://doi.org/10.33020/saintekom.v12i2.311>
- Arastehfar, S., Liu, Y., & Lu, W. F. (2024). On design concept validation through prototyping: Challenges and opportunities. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design, ICED, 6 DS75-06*(August), 119–128.
- Bagdadee, A. H., Rahman, M. S., Al Mamoon, I., Dewi, D. A., Muzahidul Islam, A. K. M., & Zhang, L. (2025). Empowering smart homes by IoT-driven hybrid renewable energy integration for enhanced efficiency. *Scientific Reports*, 15(1), 1–28. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25328-2>
- Bureau, N. (2021). IEEE Standard for Software Verification and Validation Plans Sponsor. *IEEE Standards Board*.
- Capili, B., & Anastasi, J. K. (2025). *An Introduction to the Quasi-Experimental Design (Nonrandomized Design)*. 124(11), 50–52. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0001081740.74815.20.An>
- Chekired, F., Taabli, O., Khellili, Z. M., Tilmatine, A., de Almeida, A. T., & Canale, L. (2022). Near-Zero-Energy Building Management Based on Arduino Microcontroller—On-Site Lighting Management Application. *Energies*, 15(23). <https://doi.org/10.3390/en15239064>
- Electronics Hub. (2024). *Interfacing ACS712 current sensor with Arduino*. <https://www.electronicshub.org/interfacing-ac712-current-sensor-with-arduino/>
- Furqon, A., Prasetijo, A. B., & Widiyanto, E. D. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kendali Daya Listrik pada Rumah Kos Menggunakan NodeMCU dan Firebase Berbasis Android. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 18(02), 93–104. <https://doi.org/10.31358/techne.v18i02.202>
- Gunawan. (2025). Sistem Kontrol dan Monitoring Beban Listrik di Pondok Pesantren Al-Husna Pontianak Berbasis IoT. *Jurnal Litek: Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 22(2), 94–101. <https://doi.org/10.30811/litek.v22i2.80>
- Just Do Electronics. (2024). *ZMPT101B voltage sensor: Specifications and applications*. <https://justdoelectronics.com/zmpt101b-voltage-sensor/>
- Kartiria, Erhaneli, & Sitti Amalia. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring 3 Arus 3-Phasa Menggunakan Sensor SCT-013 berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*, 10(2), 71–76.
- Karuna, Ediga, P., S, A., P, A., T, S., Mittal, A., Rajvanshi, S., & Habelalmateen, M. I. (2024). Smart energy management: real-time prediction and optimization for IoT-enabled smart homes. *Cogent Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2390674>
- Kastanja, A. J., Laisina, L. H., Pelamonia, C. E. O., Elektro, J. T., & Ambon, N. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus Dan Tegangan Listrik Pada Instalasi Rumah Tinggal Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Simetrik*, 12(2), 606–616.
- Lim, W. M. (2025). What Is Qualitative Research? An Overview and Guidelines. *Australasian Marketing Journal*, 33(2), 199–229. <https://doi.org/10.1177/14413582241264619>
- Nguyen, T. B., & Nguyen, T. C. (2023). Design and fabrication of an IoT-based smart electrical meter for residential energy management. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 30(3), 1259–1268. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v30.i3.pp1259-1268>
- Parks Associates. (2024). *Smart home energy management: Consumer insights and market trends*. <https://www.parksassociates.com>
- Pramono, A., Azis, A., W, Y. R. A., & Kunci, K. (2019). *Pada Tarif R1-Tr Menggunakan Mikrokontroler Atmega 328*. 20(1), 23–30.
- Pratama, R., Saragih, Y., & Latifa, U. (2023). Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler pada Studi Kasus Prototype Gardu Distribusi PLN. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 5(2), 88–92. <https://doi.org/10.30596/rele.v5i2.13084>
- Rahman, E. S., Almunawati, N., Tjandi, Y., Mappalotteng, A. M., & Imran, A. (2025). Design, Implementation, and Evaluation of an Electrical Energy Consumption Monitoring System in Haji Rani Building Using Arduino Uno Microcontroller. *Journal of Electrical Engineering and Informatics*, 2(2), 92–98. <https://doi.org/10.59562/jeeni.v2i2.6806>
- Renub Research. (2024). *Home energy management system market trends 2025-2033*. <https://www.renub.com/home-energy-management-system-market-p.php>
- RobTillaart. (2024). ACS712: Arduino library for ACS current sensor. *GitHub Repository*. <https://github.com/RobTillaart/ACS712>
- Siqma. (2025). *Smart home energy management with ESP32 and Arduino*. <https://blog.siqma.com/energy-management-with-esp32-and-arduino/>
- Susanta, M. H. (2024). Pengukuran Tegangan Dan Arus Listrik Menggunakan Sensor Ina 219 Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Ilmiah Sain Dan*



- Teknologi*, 3(1), 326–332.
<https://jurnal.kolibi.org/index.php/scientica/article/view/3673/3540>
- Syhari, A., & Bintoro, A. (2023). Monitoring dan Controlling Daya Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor PZEM-004T. *Jurnal Energi Elektrik*, 12(1), 43.
<https://doi.org/10.29103/jee.v12i1.9836>
- Tsai, H. L., Truong, L. P., & Hsieh, W. H. (2023). Design and Evaluation of Wireless Power Monitoring IoT System for AC Appliances. *Energies*, 16(1).
<https://doi.org/10.3390/en16010163>
- Uppal, R. (2022). Hardware verification, testing and validation. *International Defense Security & Technology*.
<https://idstch.com/technology/electronics/hardware-verification-testing-and-validation/>
- Utami, N. S., Banurea, G. R., Rahmadana, D., & Robbani, M. I. (2024). Implementasi Sensor Arus Dan Tegangan Pada Sistem Monitoring Arus Dan Tegangan (Sikuu). *ELECTRA: Electrical Engineering Articles*, 4(2), 47.
<https://doi.org/10.25273/electra.v4i2.19387>
- Wolles Elektronikkiste. (2024). *ACS712 current sensor: Comprehensive guide and applications*.
<https://wolles-elektronikkiste.de/en/acs712-current-sensor-2>