



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 3 Tahun 2025 Page 5540-5554

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Implementasi Internet of Things untuk Sistem Pemantauan dan Optimasi Energi Rumah Tangga

Rifan Rifa'i^{1✉}, Wiji Lestari², Joni Maulindar³

Universitas Duta Bangsa Surakarta

Email: rifanrifai970@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan serta pengendalian konsumsi energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) di lingkungan rumah tangga menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor arus ACS712. Sistem ini mampu mengukur dan mengirimkan data konsumsi energi secara real-time ke dashboard visualisasi berbasis Blynk/Web melalui protokol MQTT. Pengujian sistem menunjukkan tingkat akurasi pengukuran dengan rata-rata error di bawah 5% dibandingkan alat ukur standar, serta kemampuan memberikan notifikasi otomatis saat terjadi lonjakan daya berlebih. Data historis penggunaan energi juga berhasil direkam untuk analisis pola konsumsi harian pada perangkat rumah tangga seperti kipas angin, lampu LED, dan charger. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini efektif, responsif, dan mudah digunakan, dengan biaya implementasi yang rendah. Namun, sistem masih memiliki keterbatasan terkait ketergantungan koneksi Wi-Fi dan belum adanya fitur kontrol otomatis serta prediksi konsumsi energi. Rekomendasi pengembangan selanjutnya meliputi integrasi algoritma machine learning untuk meningkatkan kecerdasan sistem dan optimasi penggunaan energi secara proaktif.

Kata Kunci: *Internet of Things, Konsumsi Energi Rumah Tangga, NodeMCU ESP8266, Pemantauan Energi, Sensor ACS712*

Abstract

This study develops and implements an Internet of Things (IoT)-based energy consumption monitoring and control system for household environments using NodeMCU ESP8266 and current sensors ACS71. The system can measure and transmit energy consumption data in real-time to a visualization dashboard based on Blynk/Web via MQTT protocol. System testing shows measurement accuracy with an average error below 5% compared to standard measuring instruments, as well as the ability to provide automatic notifications when power surges occur. Historical energy usage data is also recorded for analyzing daily consumption patterns on household devices such as fans, LED lights, and chargers. The results demonstrate that the system is effective, responsive, and easy to use, with low implementation costs. However, the system still has limitations related to Wi-Fi connection dependency and lacks automatic device control and energy consumption prediction features. Future development is recommended to integrate machine learning algorithms to enhance system intelligence and optimize energy usage proactively.

Keywords: *ACS712 Sensor, Energy Monitoring, Household Energy Consumption, Internet of Things, NodeMCU ESP8266*

PENDAHULUAN

Efisiensi energi telah menjadi salah satu isu strategis yang mendapat perhatian global dalam dua dekade terakhir. Meningkatnya kebutuhan energi, didorong oleh pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan digitalisasi yang masif, menyebabkan lonjakan konsumsi energi yang tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya energi konvensional. Ketimpangan ini berdampak pada naiknya emisi gas rumah kaca dan kerusakan lingkungan yang semakin mengkhawatirkan. Dalam konteks global, berbagai negara telah mengambil langkah serius untuk menurunkan konsumsi energi, terutama dari sektor non-industri seperti perumahan dan transportasi, yang kontribusinya terhadap jejak karbon semakin signifikan.

Di Indonesia, sektor rumah tangga merupakan salah satu penyumbang utama konsumsi energi nasional. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2024) mencatat bahwa sektor rumah tangga menyumbang sekitar 20% dari total konsumsi energi nasional. Persentase ini menegaskan peran penting rumah tangga dalam struktur konsumsi energi Indonesia, sekaligus menunjukkan potensi besar untuk efisiensi energi apabila dikelola dengan pendekatan teknologi yang tepat. Namun, kondisi di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar rumah tangga di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan dalam mengelola konsumsi energi mereka. Tantangan ini tidak hanya mencakup aspek teknis seperti keterbatasan alat pemantau energi, tetapi juga mencakup aspek perilaku seperti kurangnya kesadaran terhadap pentingnya penghematan energi

dalam kehidupan sehari-hari. Survei oleh (KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL, 2024) menunjukkan bahwa lebih dari 65% rumah tangga belum memahami dengan baik bagaimana perilaku konsumsi mereka memengaruhi biaya dan lingkungan, serta hanya sekitar 22% yang secara aktif memantau penggunaan energi mereka. Fakta ini memperkuat urgensi perlunya sistem berbasis teknologi yang dapat membantu membentuk kesadaran dan kebiasaan baru yang lebih hemat energi.

Permasalahan utama yang dihadapi rumah tangga adalah ketiadaan sistem yang mampu memantau konsumsi energi secara real-time dan memberikan gambaran menyeluruh atas pola konsumsi yang terjadi. Banyak pengguna rumah tangga yang belum mengetahui konsumsi aktual tiap perangkat listrik yang digunakan, sehingga sulit bagi mereka untuk mengidentifikasi perangkat mana yang boros energi atau digunakan secara tidak efisien. Hal ini diperparah oleh belum tersedianya sistem otomatisasi yang dapat membantu pengguna untuk mengendalikan konsumsi energi secara adaptif dan responsif terhadap kondisi penggunaan harian (Adiwiranto et al., 2022). Akibatnya, pemborosan energi sering kali tidak terdeteksi dan baru disadari ketika tagihan listrik meningkat secara drastis.

Selain itu, perilaku pengguna yang cenderung reaktif juga menjadi faktor penghambat dalam penerapan efisiensi energi. Rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pola konsumsi energi mereka menyebabkan tindakan penghematan lebih bersifat sementara dan tidak berkelanjutan (Ma'shumah et al., 2024; Sandira et al., 2023). Pengguna rumah tangga umumnya belum memiliki akses terhadap data yang dapat membantu mereka memahami dinamika konsumsi energi dari waktu ke waktu, maupun melakukan evaluasi dan perbaikan pola penggunaan energi. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk menghadirkan sistem yang tidak hanya menyajikan data konsumsi, tetapi juga mampu mengedukasi dan membentuk kebiasaan baru dalam penggunaan energi secara cerdas.

Dalam menjawab tantangan tersebut, kemajuan teknologi *Internet of Things (IoT)* menawarkan pendekatan revolusioner dalam pengelolaan energi rumah tangga. *IoT* memungkinkan integrasi antara berbagai sensor, perangkat mikroprosesor, dan jaringan komunikasi data untuk menciptakan sistem yang mampu mengumpulkan, memproses, dan menampilkan data konsumsi energi secara real-time. Komponen seperti NodeMCU, sensor arus ACS712, dan protokol komunikasi *MQTT* telah terbukti dapat membentuk infrastruktur monitoring yang andal dan hemat biaya untuk keperluan rumah tangga (Froiz-Míguez et al., 2018; Hiwale et al., 2018). Sensor arus ACS712, misalnya, bekerja dengan prinsip efek Hall

untuk mendeteksi aliran arus pada perangkat, sementara protokol MQTT memungkinkan komunikasi ringan dan efisien antar-perangkat IoT melalui jaringan internet. Namun, tantangan teknis yang mungkin dihadapi termasuk keterbatasan kompatibilitas perangkat, latensi jaringan, serta kestabilan koneksi, terutama di wilayah dengan infrastruktur internet yang belum merata. Sistem ini tidak hanya menyediakan data numerik, tetapi juga dapat dikembangkan menjadi platform yang mendukung visualisasi konsumsi energi dalam bentuk grafik interaktif, notifikasi penggunaan berlebih, serta integrasi dengan aplikasi kontrol jarak jauh.

Beberapa studi sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan teknologi ini dalam skala terbatas. Penelitian oleh (Adiwiranto et al., 2022) membuktikan bahwa kombinasi sensor PZEM-004T dan NodeMCU dapat memantau parameter kelistrikan rumah tangga dengan akurasi lebih dari 97%, serta memberikan estimasi biaya energi secara real-time yang sangat berguna bagi pengguna. Studi lain oleh (Farid & Salahuddin, 2024) menunjukkan bahwa aplikasi *Blynk* dapat digunakan untuk mengontrol perangkat listrik dari jarak jauh berdasarkan data konsumsi aktual, memberikan keleluasaan bagi pengguna dalam mengatur perangkat secara efisien. Sementara itu, (Irvandi et al., 2023) menyoroti pentingnya pemantauan parameter spesifik dari masing-masing perangkat untuk mendeteksi potensi pemborosan atau kerusakan teknis, seperti kebocoran arus atau tegangan abnormal.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian yang telah dilakukan cenderung masih fokus pada satu aspek, baik pemantauan ataupun kontrol. Belum banyak penelitian yang mencoba mengintegrasikan seluruh komponen penting—monitoring, kontrol, serta analitik prediktif—ke dalam satu sistem yang utuh dan saling mendukung. Padahal, dengan pendekatan yang lebih komprehensif, sistem semacam ini tidak hanya dapat memberikan data konsumsi, tetapi juga dapat memprediksi kebutuhan energi di masa depan berdasarkan pola historis, dan memberikan rekomendasi otomatis untuk mengurangi beban energi secara berkelanjutan. Sistem yang dirancang dalam penelitian ini akan menerapkan algoritma machine learning berbasis regresi linier dan klasifikasi keputusan (decision tree) untuk membangun model prediktif yang belajar dari data penggunaan energi sebelumnya. Model ini akan digunakan untuk memperkirakan lonjakan konsumsi dan menyarankan pengaturan otomatis seperti penjadwalan nyala/mati perangkat untuk menghindari beban puncak.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan dan pengelolaan energi berbasis *IoT* yang tidak hanya fokus pada aspek observasi dan kontrol, tetapi juga mengintegrasikan fungsi analitik prediktif guna mendukung pengambilan keputusan pengguna dalam mengoptimalkan konsumsi energi rumah tangga. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengakses informasi energi secara visual, mengatur perangkat listrik dari jarak jauh, serta menerima rekomendasi optimasi berdasarkan analisis data yang adaptif. Dengan pendekatan ini, pengguna tidak hanya menjadi objek dalam sistem energi rumah tangga, tetapi juga berperan aktif dalam menciptakan lingkungan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Simulasi awal menunjukkan bahwa rumah tangga dapat menghemat antara 15–25% energi bulanan dengan menerapkan sistem ini, tergantung pada tingkat disiplin penggunaan serta jumlah perangkat yang terintegrasi. Temuan ini mendukung efektivitas sistem dalam konteks nyata di Indonesia, terutama dalam membantu rumah tangga menurunkan tagihan listrik tanpa mengorbankan kenyamanan.

Inovasi ini diharapkan dapat memberikan nilai tambah dalam tiga aspek utama: efisiensi energi, penghematan biaya, dan kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon. Integrasi sistem pemantauan dan pengendalian energi dengan pendekatan analitik prediktif akan menjadikan rumah tangga lebih cerdas dan responsif dalam pengelolaan energi sehari-hari. Penelitian ini berpotensi mempercepat transformasi menuju rumah tangga yang hemat energi, adaptif terhadap perubahan kebutuhan, dan berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan sebagaimana disampaikan oleh (Lakapu et al., 2021; López-Morales et al., 2021; Purjianto & Faiq, 2024). Dengan demikian, sistem yang diusulkan tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu, tetapi sebagai solusi holistik yang menggabungkan teknologi dan kesadaran energi dalam satu ekosistem yang saling melengkapi.

METODE PENELITIAN

Internet of Things (IoT) merupakan konsep integrasi perangkat fisik dengan kemampuan komunikasi, komputasi, dan sensorik yang memungkinkan pertukaran data secara otomatis melalui jaringan internet. Teknologi ini memungkinkan perangkat-perangkat seperti *sensor*, *aktuator*, dan *mikrokontroler* untuk saling terhubung, memantau, dan mengendalikan objek atau proses tanpa campur tangan manusia secara langsung.

Dalam konteks rumah tangga, *IoT* berperan penting dalam mewujudkan *smart home*, yang tidak hanya menawarkan kenyamanan, tetapi juga efisiensi dalam penggunaan energi. Dengan mengintegrasikan berbagai perangkat listrik ke dalam ekosistem *IoT*, pemantauan

konsumsi energi dapat dilakukan secara real-time dan berbasis data, sehingga mendukung pengambilan keputusan otomatis untuk menghemat energi.

Sensor merupakan komponen utama dalam sistem *IoT* karena berfungsi sebagai penghubung antara dunia fisik dan digital. Dalam penelitian ini, digunakan sensor arus *ACS712* sebagai alat pengukur arus listrik.

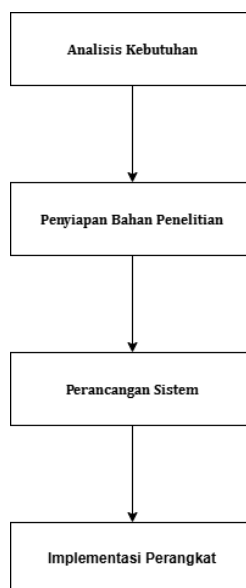
ACS712 adalah sensor arus berbasis efek *Hall* yang dapat mengukur arus *AC* dan *DC*. Sensor ini menghasilkan output tegangan analog yang sebanding dengan arus yang terdeteksi. Sensor ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain Tingkat sensitivitas tinggi, Isolasi galvanik antara input dan output, Desain kompak dan mudah digunakan pada mikrokontroler seperti *NodeMCU*.

Komunikasi data dalam sistem *Internet of Things (IoT)* merupakan elemen vital yang menghubungkan perangkat keras di lapangan dengan sistem analitik atau antarmuka pengguna. Dalam penelitian ini, digunakan koneksi *Wi-Fi* sebagai media komunikasi nirkabel dan protokol *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)* sebagai protokol komunikasi data. *MQTT* merupakan protokol berbasis mekanisme *publish/subscribe* yang dirancang untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya serta lingkungan jaringan yang tidak stabil. Protokol ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti ringan dan hemat bandwidth, penggunaan arsitektur terpusat melalui broker, serta dukungan terhadap *Quality of Service (QoS)* untuk menjamin keandalan pengiriman pesan. Dalam implementasinya, perangkat pengirim seperti *NodeMCU* mengirimkan data sensor ke broker *MQTT*, sedangkan perangkat penerima, seperti dashboard atau aplikasi pengguna, mengambil data dari topik tertentu sesuai kebutuhan. Penelitian oleh (Froiz-Míguez et al., 2018) menunjukkan efektivitas *MQTT* dalam sistem pemantauan energi berbasis cloud, di mana data arus, daya, dan energi dikirim secara berkala oleh *NodeMCU* ke broker *MQTT* dan kemudian divisualisasikan dalam bentuk dashboard.

NodeMCU ESP8266 merupakan mikrokontroler berbasis chip *ESP8266* yang telah dilengkapi dengan modul *Wi-Fi*, menjadikannya sangat cocok untuk pengembangan aplikasi *Internet of Things (IoT)*. Mikrokontroler ini memiliki beberapa keunggulan, di antaranya dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman *Arduino IDE*, memiliki jumlah *GPIO* yang cukup untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator, serta mendukung konektivitas *Wi-Fi* secara langsung. Dalam penelitian ini, *NodeMCU* berperan sebagai pusat kendali sistem, dengan tugas utama membaca sinyal dari sensor arus, mengolah data tersebut untuk menghitung daya dan energi, serta mengirimkan data hasil pengolahan ke broker *MQTT*. Selain itu, *NodeMCU* juga bertanggung jawab dalam

mendeteksi kondisi over-load dan mengirimkan peringatan jika diperlukan. Dengan kemampuan komputasi yang memadai dan konektivitas yang mumpuni, *NodeMCU* menjadi pilihan ideal untuk sistem pemantauan energi skala rumah tangga yang membutuhkan solusi ringan, hemat biaya, dan fleksibel.

Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan dan optimasi konsumsi energi listrik rumah tangga berbasis *Internet of Things (IoT)*. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk memantau konsumsi daya secara real-time, memberikan notifikasi peringatan saat terjadi beban berlebih, dan mencatat data historis untuk keperluan analisis serta optimasi penggunaan energi. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan komponen perangkat keras, perangkat lunak, dan antarmuka pengguna dalam satu platform terpadu. Secara garis besar, metodologi penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan utama: penyiapan bahan penelitian, perancangan sistem, implementasi dan pengujian sistem. Diagram alir metodologi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penyiapan Bahan Penelitian

Pada tahap ini, seluruh perangkat keras dan lunak yang diperlukan untuk merancang sistem pemantauan energi berbasis *Internet of Things (IoT)* dipersiapkan secara menyeluruh. Komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini mencakup *NodeMCU ESP8266*, sebuah mikrokontroler berbasis *Wi-Fi* yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data sekaligus penghubung dengan jaringan internet. Untuk mengukur arus listrik yang mengalir ke berbagai peralatan rumah tangga, digunakan sensor arus ACS712 yang bekerja berdasarkan efek *Hall*. Objek pengukuran terdiri dari beban listrik rumah tangga seperti

kipas angin, lampu, dan charger. Data dari sensor dikirimkan melalui protokol komunikasi jaringan *MQTT* yang menggunakan sistem publish-subscribe, dengan broker seperti Mosquitto atau *CloudMQTT* untuk menghubungkan *NodeMCU* dengan antarmuka pengguna. Data konsumsi energi ditampilkan dalam bentuk visual melalui dashboard visualisasi yang dibangun menggunakan platform seperti *Blynk* atau dashboard berbasis web, memungkinkan pemantauan secara real-time maupun historis. Seluruh perangkat keras dirakit dan dikonfigurasi untuk memastikan kompatibilitas antar komponen dan kestabilan sistem, sebagai landasan sebelum memasuki tahap perancangan sistem secara menyeluruh.

Perancangan Sistem

Sistem pemantauan dan optimasi energi listrik rumah tangga ini dirancang agar dapat bekerja secara kontinu dan otomatis dengan mengintegrasikan komponen perangkat keras, perangkat lunak, dan komunikasi jaringan melalui pendekatan berbasis *Internet of Things (IoT)*. Komponen utama sistem terdiri dari *NodeMCU ESP8266* sebagai pusat kendali dan pengolah data, sensor arus *ACS712* sebagai alat ukur arus listrik, serta protokol komunikasi *MQTT* untuk pengiriman data ke dashboard pengguna secara real-time.

Sistem bekerja dengan cara membaca data arus listrik yang mengalir ke beban (peralatan rumah tangga) menggunakan sensor *ACS712*. Sensor ini mendeteksi besarnya arus berdasarkan efek *Hall*, yang kemudian menghasilkan nilai analog. Nilai analog tersebut dibaca oleh *NodeMCU* dan dikonversi ke dalam satuan arus (ampere) menggunakan fungsi kalibrasi yang telah ditentukan. Setelah nilai arus diperoleh, sistem menghitung daya listrik aktif (dalam satuan watt) dengan menggunakan rumus dasar kelistrikan yaitu:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Di mana:

P adalah daya aktif (*watt*),

V adalah tegangan sistem yang diasumsikan konstan sebesar 220 *volt*,

I adalah nilai arus (ampere) yang diukur oleh sensor *ACS712*.

Data daya yang dihasilkan akan dikalkulasi secara akumulatif terhadap waktu untuk mendapatkan konsumsi energi dalam satuan watt-jam (Wh). *NodeMCU* secara berkala mengirimkan data arus, daya, dan energi tersebut ke server *MQTT* menggunakan koneksi *Wi-Fi*. Server *MQTT* bertindak sebagai perantara data, yang kemudian akan di-subscribe oleh antarmuka pengguna berupa dashboard.

Dashboard ini menampilkan grafik perubahan konsumsi energi secara dinamis dan *real-time*, yang memudahkan pengguna dalam memantau penggunaan listrik dari waktu ke waktu. Sistem juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis yang aktif ketika nilai daya melebihi ambang batas yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam kondisi tersebut, *NodeMCU* akan mengirimkan pesan peringatan melalui topik khusus *MQTT* yang dapat ditampilkan dalam bentuk pop-up atau notifikasi push ke perangkat pengguna. Dengan demikian, pengguna dapat segera mengetahui kondisi abnormal dan mengambil langkah untuk mematikan atau mengganti peralatan listrik yang boros.

Rancangan sistem ini juga fleksibel dan dapat diperluas untuk mencakup lebih banyak titik pemantauan atau diintegrasikan dengan fitur kontrol otomatis pada penelitian lanjutan. Secara keseluruhan, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring tetapi juga sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan energi secara bijak dan efisien di tingkat rumah tangga.

Implementasi Perangkat

Setelah proses perancangan sistem pemantauan energi berbasis IoT selesai, tahap selanjutnya adalah implementasi dan pengujian sistem dalam kondisi nyata dengan menggunakan beban listrik rumah tangga sebagai objek uji. Implementasi dilakukan dengan menempatkan sistem secara langsung pada perangkat-perangkat seperti lampu, kipas angin, dan charger untuk mengamati kinerja aktualnya. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi beberapa aspek penting, antara lain akurasi pembacaan arus dan daya oleh sensor *ACS712*, kestabilan pengiriman data melalui protokol *MQTT*, serta responsivitas sistem dalam menampilkan data konsumsi energi secara *real-time* pada dashboard visualisasi. Selain itu, sistem diuji untuk memastikan keandalan fungsionalitas notifikasi otomatis yang dikirimkan saat terdeteksi adanya beban listrik berlebih yang berpotensi membahayakan.

Untuk memastikan validitas data yang diperoleh, hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur standar seperti multimeter digital dan kWh meter. Perbandingan ini penting guna mengukur tingkat akurasi sistem dalam merepresentasikan kondisi aktual konsumsi energi. Tidak hanya pengujian sesaat, sistem juga dievaluasi dalam rentang waktu tertentu untuk menilai konsistensi performa, baik dari sisi akurasi pembacaan, kestabilan pengiriman data, maupun kelengkapan visualisasi data historis. Melalui pengujian jangka panjang ini, dapat dianalisis sejauh mana sistem mampu bekerja secara andal dalam skenario penggunaan sehari-hari. Hasil dari implementasi dan pengujian ini menjadi dasar

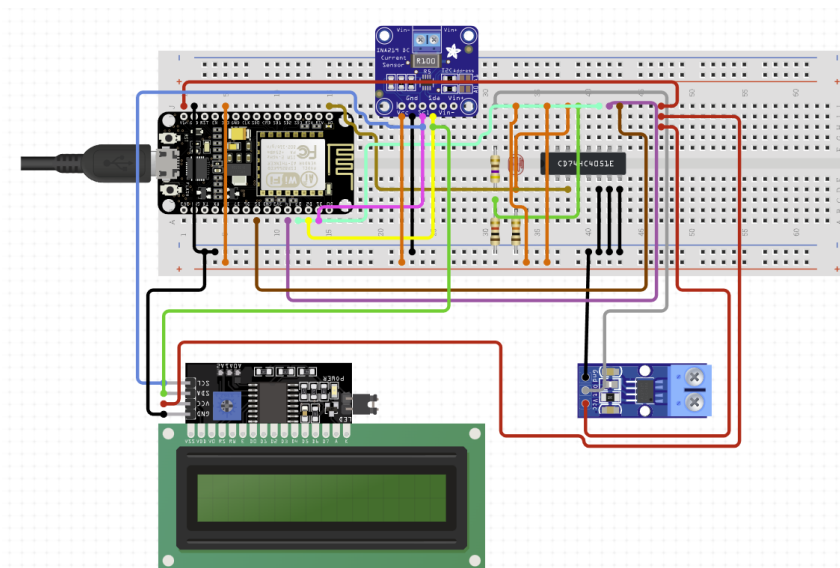
dalam menyimpulkan efektivitas sistem sebagai solusi monitoring energi rumah tangga berbasis IoT yang efisien dan adaptif terhadap kondisi nyata di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil dari implementasi dan pengujian sistem pemantauan serta pengendalian konsumsi energi berbasis IoT di lingkungan rumah tangga. Hasil disajikan dalam bentuk visualisasi data, grafik, tangkapan layar dashboard, dan tabel evaluasi performa sistem, yang kemudian dibahas untuk menilai efektivitas dan keandalannya dalam skenario nyata.

Hasil Implementasi Sistem Pemantauan Energi

Sistem pemantauan konsumsi energi berbasis IoT telah berhasil diimplementasikan menggunakan *NodeMCU ESP8266* sebagai mikrokontroler utama yang menghubungkan sensor-sensor dengan platform pemantauan. Rangkaian sistem disusun pada breadboard dan ditampilkan pada Gambar 2



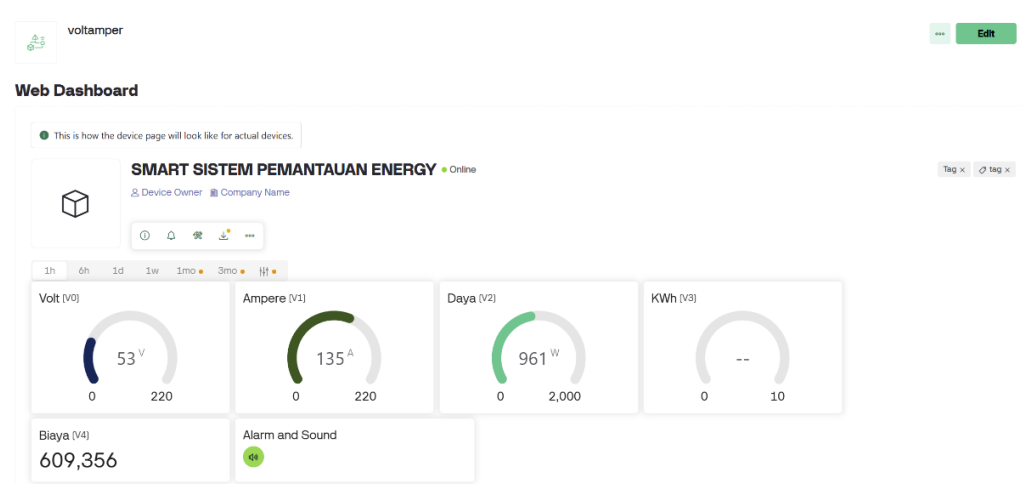
Gambar 2. Rangkaian Arsitektur Sistem Pemantauan Energi Berbasis IoT

Komponen utama dalam sistem ini terdiri dari *NodeMCU ESP8266* yang berfungsi sebagai mikrokontroler pusat dan mengendalikan seluruh proses, serta mengirim data melalui koneksi *Wi-Fi*. Pada *NodeMCU*, pin *D1 (GPIO5)* dan *D2 (GPIO4)* digunakan sebagai jalur komunikasi *I2C* untuk menghubungkan dengan *LCD Display I2C 16x2*. *LCD Display I2C* menerima daya melalui pin *VCC* dan *GND*, serta menghubungkan pin *SDA* ke *D2* dan *SCL* ke *D1* pada *NodeMCU* untuk menampilkan data secara real-time, dengan pin *SDA* dan *SCL* terhubung ke pin *D2* dan *D1* pada *NodeMCU*, serta memiliki terminal *VIN+* dan *VIN-* yang

dipasang pada jalur positif sumber daya dan beban untuk pengukuran arus dan tegangan. Sensor arus *ACS712* menggunakan pin *VCC 5V*, *GND*, dan pin output analog yang terhubung langsung ke pin *A0* pada *NodeMCU* untuk pembacaan arus AC atau DC. *Multiplexer CD74HC4051E* berperan dalam memilih satu dari beberapa input sensor dengan pin *VCC 3.3V* dan ground, pin seleksi *S1*, *S2*, dan *S3* terhubung ke pin *D5*, *D6*, dan *D7* pada *NodeMCU*, serta pin output *Z* yang tersambung ke pin *A0* sebagai input utama mikrokontroler. *Resistor* dengan nilai 470Ω , $1K\Omega$, dan $10K\Omega$ digunakan sebagai pembatas arus, pull-up, atau pull-down pada rangkaian sesuai kebutuhan, dan semua komponen ini dirakit secara sementara di breadboard dengan menggunakan kabel jumper sebagai penghubung antar pin sehingga memudahkan pengujian dan perakitan tanpa perlu penyolderan.

Implementasi sistem dilakukan pada beberapa perangkat listrik rumah tangga, seperti kipas angin, lampu *LED*, dan charger. *NodeMCU ESP8266* yang terhubung dengan sensor arus *ACS712* dipasang secara seri pada jalur arus listrik perangkat, dan data konsumsi energi dikirimkan secara berkala ke broker *MQTT*. Dashboard visualisasi berbasis *Blynk/Web* digunakan untuk menampilkan data konsumsi secara *real-time*.

Tampilan dashboard ditunjukkan pada Gambar 3, yang menunjukkan grafik konsumsi daya dan energi dari masing-masing perangkat selama periode waktu tertentu.



Gambar 3. Tampilan dashboard visualisasi konsumsi energi secara real-time

Dari hasil pengamatan, sistem mampu menampilkan data arus (A), daya (W), dan energi kumulatif (Wh) secara stabil dan terus-menerus, dengan pembaruan data setiap 5 detik. Hal ini menunjukkan bahwa koneksi *MQTT* berjalan dengan baik dan sistem mampu menangani komunikasi data secara real-time tanpa jeda yang signifikan

Evaluasi Akurasi Sensor dan Kinerja Sistem

Untuk menguji keakuratan pengukuran arus dan daya oleh sensor *ACS712*, dilakukan perbandingan terhadap alat ukur referensi, yaitu multimeter digital dan kWh meter standar. Hasil pengukuran arus ditampilkan pada Tabel 1

Tabel 1. Perbandingan pengukuran arus antara multimeter dan sensor ACS712

Beban (Perangkat)	Arus (A) Multimeter	Arus (A) ACS712	Error (%)
Kipas Angin	0.42	0.41	2.38
Lampu LED 12W	0.06	0.06	0.00
Charger HP	0.21	0.20	4.76

Hasil menunjukkan bahwa error pengukuran rata-rata berada di bawah 5%, sehingga sistem dapat dikategorikan cukup akurat untuk keperluan pemantauan energi di rumah tangga.

Selain itu, fitur notifikasi otomatis berhasil berjalan saat terjadi lonjakan daya yang melebihi ambang batas 100 watt. Gambar 4 menunjukkan notifikasi push yang dikirimkan ke aplikasi pengguna.

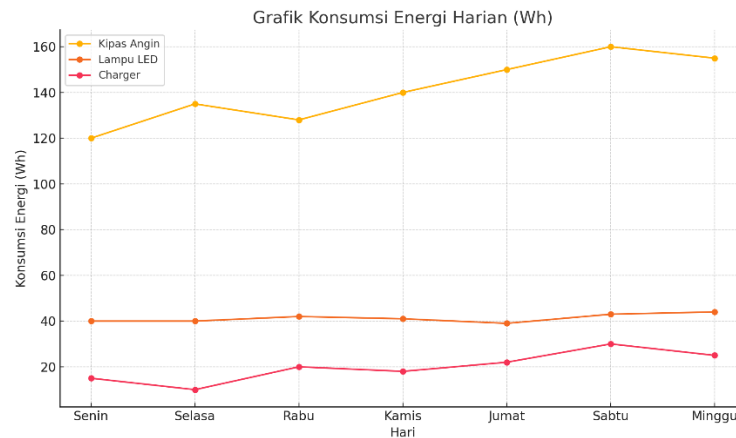


Gambar 4. Notifikasi sistem saat daya melebihi ambang batas

Notifikasi ini membantu pengguna untuk segera merespons kondisi abnormal, misalnya mematikan perangkat yang terlalu boros atau mendeteksi adanya gangguan listrik

Analisis Konsumsi Energi dan Pola Penggunaan

Data historis yang dikumpulkan selama 7 hari digunakan untuk menganalisis pola konsumsi energi harian. Gambar 5 menunjukkan grafik konsumsi energi harian (Wh) untuk tiga perangkat uji coba



Gambar 5. Grafik konsumsi energi harian pada perangkat rumah tangga

Dari grafik terlihat bahwa kipas angin memiliki konsumsi energi tertinggi, terutama pada malam hari. Lampu *LED* memiliki konsumsi stabil di malam hari, sedangkan charger menunjukkan pola penggunaan tidak tetap, tergantung aktivitas penghuni.

Analisis ini menunjukkan bahwa sistem dapat membantu pengguna dalam memahami kebiasaan penggunaan energi dan melakukan evaluasi terhadap potensi penghematan. Dengan fitur ini, pengguna dapat menentukan perangkat mana yang perlu diganti, dibatasi penggunaannya, atau dipantau lebih lanjut.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem berbasis *IoT* yang dikembangkan dapat diimplementasikan secara efektif di lingkungan rumah tangga dengan tingkat akurasi yang memadai. Sistem mampu memberikan visualisasi data secara real-time yang informatif serta notifikasi adaptif yang membantu pengguna dalam pengambilan keputusan terkait penggunaan energi. Salah satu keunggulan utama dari sistem ini adalah biaya implementasi yang rendah berkat penggunaan perangkat terbuka seperti *NodeMCU* dan sensor *ACS712*. Selain itu, sistem juga responsif terhadap kondisi beban berlebih dan menyajikan visualisasi data yang mudah dipahami oleh pengguna yang tidak memiliki latar belakang teknis. Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, antara lain ketergantungan pada koneksi Wi-Fi yang harus stabil agar sistem dapat berfungsi optimal, belum tersedianya fitur kontrol otomatis untuk perangkat yang dipantau, serta visualisasi yang saat ini hanya sebatas pemantauan konsumsi energi tanpa kemampuan prediksi atau klasifikasi beban. Keterbatasan tersebut dapat menjadi fokus pengembangan selanjutnya dengan mengintegrasikan algoritma prediktif berbasis machine learning, sehingga sistem dapat memberikan rekomendasi penggunaan energi yang lebih optimal dan proaktif kepada pengguna.

SIMPULAN

Sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi energi berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor ACS712 telah berhasil diimplementasikan secara efektif di lingkungan rumah tangga. Sistem ini mampu melakukan pengukuran arus dan tegangan dengan akurasi tinggi (error rata-rata <5%) dan menampilkan data secara real-time melalui dashboard Blynk/Web. Fitur notifikasi otomatis responsif dalam mendeteksi lonjakan daya, serta mampu menyimpan data historis untuk analisis pola konsumsi. Sistem ini mudah digunakan, berbiaya rendah, namun masih bergantung pada koneksi Wi-Fi dan belum mendukung kontrol otomatis. Integrasi machine learning ke depannya direkomendasikan untuk prediksi dan optimalisasi konsumsi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwiranto, M. N., Waluyo, C. B., & Sudibya, B. (2022). PROTOTIPE SISTEM MONITORING KONSUMSI ENERGI LISTRIK SERTA ESTIMASI BIAYA PADA PERALATAN RUMAH TANGGA BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(1), 32–41. <https://doi.org/10.21831/jee.v6i1.44272>
- Farid, F., & Salahuddin, N. S. (2024). Sistem Pantau dan Kendali Peralatan Listrik Rumah Berbasis Internet of Things (IoT). *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(2), 1079–1090. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i2.4089>
- Froiz-Míguez, I., Fernández-Caramés, T. M., Fraga-Lamas, P., & Castedo, L. (2018). Design, Implementation and Practical Evaluation of an IoT Home Automation System for Fog Computing Applications Based on MQTT and ZigBee-WiFi Sensor Nodes. *Sensors*, 18(8), 2660. <https://doi.org/10.3390/s18082660>
- Hiwale, A. P., Gaikwad, D. S., Dongare, A. A., & Mhatre, C. (2018). IOT BASED SMART ENERGY MONITORING. 05(03).
- Irvandi, I., Mursyidin, M., & Fathiah, F. (2023). Perancangan Prototype Alat Monitoring Peralatan Listrik pada Rumah Tangga Berbasis IoT (Internet Of Things). *JUPITER (JURNAL PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO)*, 8(1), 20. <https://doi.org/10.25273/jupiter.v8i1.16058>
- KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL. (2024). Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat, Tahun 2023 Capai 1.285 kWh/Kapita. ESDM. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>
- Lakapu, P. Y., Nursalim, N., & Mauboy, E. (2021). Sistem Kontrol dan Monitor untuk

- Manajemen Konsumsi Energi Listrik pada Sistem Kelistrikan Rumah Tangga R-1. *Jurnal Media Elektro*, 87–93. <https://doi.org/10.35508/jme.v10i2.5081>
- López-Morales, J. A., Martínez, J. A., & Skarmeta, A. F. (2021). Improving Energy Efficiency of Irrigation Wells by Using an IoT-Based Platform. *Electronics*, 10(3), 250. <https://doi.org/10.3390/electronics10030250>
- Ma'shumah, S., Pramartaningthyas, E. K., & Rokhim, A. G. (2024). IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS (IOT) PADA SISTEM MONITORING DAN NOTIFIKASI PEMAKAIAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS APLIKASI BLYNK. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 12(3), 144–149. <https://doi.org/10.30591/polektro.v12i3.5282>
- Purjianto, K. J., & Faiq, M. N. (2024). Prototipe Monitoring Energi Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) guna Mewujudkan Rumah Pintar. 4(1).
- Sandira, A., Jufrizel, Son Maria, P., & Ullah, A. (2023). Alat Monitoring dan Notifikasi Penggunaan Daya Listrik Rumah Tangga Berbasis Internet Of Things Menggunakan Blynk 2.0. *Jurnal Komputer Terapan*, 8(2), 408–420. <https://doi.org/10.35143/jkt.v8i2.5761>.