

Pengembangan dan Evaluasi Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT dengan Sensor PZEM-004T dan ESP8266

Muhammad Takdir Muslihi¹

¹Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

mtakdir.muslihi@gmail.com *

Abstract

The increasing reliance on electricity in modern life necessitates an efficient energy monitoring system to optimize consumption. Conventional measuring devices lack the capability to provide detailed consumption patterns, limiting users' ability to enhance energy efficiency. This study aims to develop an IoT-based energy monitoring device that delivers real-time and detailed energy consumption data. Using the Research and Development (R&D) methodology, the research includes literature review, system design, hardware and software development, and prototype testing. The device integrates a PZEM-004T sensor, ESP8266 Wi-Fi module, and Blynk platform for real-time monitoring via a smartphone. Testing results indicate an accuracy of $\pm 1.2\%$ for voltage, $\pm 1.5\%$ for current, and $\pm 1.8\%$ for power measurements. The system successfully provides real-time updates every second through a stable IoT connection, demonstrating its effectiveness in energy consumption monitoring.

Keywords: IoT, energy monitoring, real-time

Abstrak

Ketertarikan yang meningkat pada listrik dalam kehidupan modern membutuhkan sistem pemantauan energi yang efisien untuk mengoptimalkan konsumsi. Alat ukur konvensional belum mampu memberikan pola konsumsi energi yang rinci, sehingga membatasi upaya peningkatan efisiensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat pemantauan energi berbasis IoT yang mampu menyediakan data konsumsi energi secara real-time dan terperinci. Menggunakan metode *Research and Development* (R&D), penelitian ini melibatkan kajian literatur, perancangan sistem, pengembangan perangkat keras dan lunak, serta pengujian prototipe. Perangkat ini mengintegrasikan sensor PZEM-004T, modul Wi-Fi ESP8266, dan platform Blynk, memungkinkan pemantauan melalui smartphone. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi $\pm 1,2\%$ untuk tegangan, $\pm 1,5\%$ untuk arus, dan $\pm 1,8\%$ untuk daya. Sistem ini mampu menyediakan data real-time dengan interval pembaruan 1 detik melalui koneksi IoT yang stabil, membuktikan keandalannya dalam pemantauan konsumsi energi.

Kata kunci: IoT, pemantauan energi, real-time.

©This work is licensed under a Creative Commons Attribution -ShareAlike 4.0 International License

1. Pendahuluan

Listrik telah menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan modern, berperan sebagai sumber energi utama dalam berbagai sektor, mulai dari rumah tangga, industri, hingga transportasi. Di Indonesia, konsumsi listrik terus meningkat, tercatat mencapai 323,34 TWh pada tahun 2023, naik dari 299,72 TWh pada tahun 2021, dengan pertumbuhan rata-rata 7,9% per tahun [1]. Namun, efisiensi penggunaan listrik masih menjadi tantangan utama, terutama karena keterbatasan sistem pemantauan konsumsi energi yang akurat dan mudah diakses oleh pengguna. Sebanyak 30-40% konsumsi energi listrik di sektor rumah tangga dan industri masih belum teroptimasi, menunjukkan perlunya sistem pemantauan yang lebih canggih untuk membantu pengguna mengelola konsumsi energi secara lebih efisien [2,3].

Penelitian sebelumnya telah memberikan gambaran tentang kebutuhan akan teknologi yang lebih efisien dalam pemantauan energi. Apriliyanti [4] menyoroti peningkatan ketertarikan masyarakat terhadap listrik sebagai faktor pendorong utama dalam pengembangan sistem pengelolaan energi yang lebih

baik. Sementara itu, Widiarto [5] menunjukkan bahwa tantangan utama dalam penyediaan listrik di Indonesia terletak pada distribusi yang tidak merata dan sistem pemantauan yang kurang efisien, khususnya di daerah pedesaan.

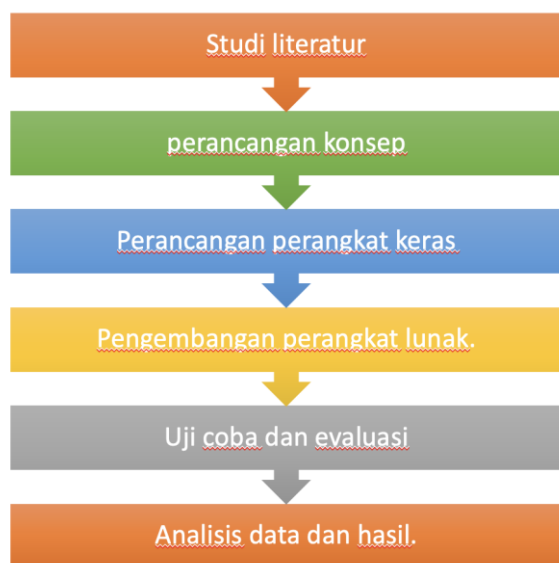
Lebih lanjut, Iswanda [6] membahas keterbatasan alat pengukur konvensional, seperti kWh meter, yang hanya menyediakan informasi konsumsi energi secara total tanpa rincian spesifik. Hal ini menjadi hambatan bagi pengguna dalam mengidentifikasi pola konsumsi energi dan meningkatkan efisiensi penggunaannya [7]. Sejumlah penelitian terbaru telah menunjukkan potensi teknologi Internet of Things (IoT) dalam mengatasi keterbatasan ini. IoT memungkinkan integrasi alat pengukur dengan jaringan digital untuk menyediakan data real-time, memperbaiki akurasi pemantauan, dan mempermudah akses pengguna melalui perangkat seluler atau komputer [8-11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat pemantauan konsumsi energi listrik berbasis IoT yang mampu menyediakan data real-time dan terperinci mengenai tegangan, arus, daya, serta efisiensi penggunaan energi. Dengan mengatasi keterbatasan

alat ukur konvensional yang hanya menampilkan total konsumsi tanpa detail pola penggunaan, alat ini dirancang untuk membantu pengguna menganalisis konsumsi energi secara lebih akurat, mendeteksi potensi inefisiensi, serta meningkatkan kesadaran dalam pengelolaan energi listrik. Sistem ini menggunakan sensor PZEM-004T, modul Wi-Fi ESP8266, dan platform Blynk, memungkinkan akses data melalui smartphone secara real-time, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan jarak jauh dengan stabilitas koneksi yang terjaga

2. Metode Penelitian

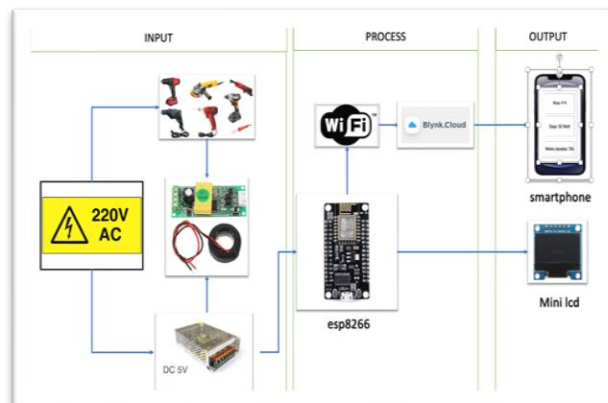
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Research and Development (R&D), yaitu metode yang bertujuan untuk menghasilkan produk tertentu serta menguji keefektifannya dalam memenuhi kebutuhan yang telah ditentukan [12-14] Berdasarkan definisi tersebut, dapat dijelaskan bahwa metode R&D melibatkan proses menghasilkan produk yang sesuai dengan acuan dan kriteria tertentu, serta melakukan validasi atau pengujian melalui berbagai tahapan [15,16]. Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian kami.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1. Studi Literatur : peneliti melakukan tinjauan literatur untuk memahami teknologi dan metodologi yang telah digunakan dalam pengembangan alat ukur daya berbasis IoT sebelumnya. Hasil dari langkah ini membantu peneliti dalam membuat analisis kebutuhan, mendesain, dan mengembangkan prototipe alat [17].

2.2. Perancangan Konsep: Berdasarkan kebutuhan dan studi literatur, peneliti merancang konsep awal alat ukur daya berbasis IoT. Ini melibatkan pemilihan sensor yang sesuai, pemilihan platform mikrokontroler atau sistem, serta menghasilkan desain antarmuka pengguna yang intuitif [18-19]. Gambar 2 menunjukkan rancangan konsep alat ini dalam bentuk diagram blok sistem.

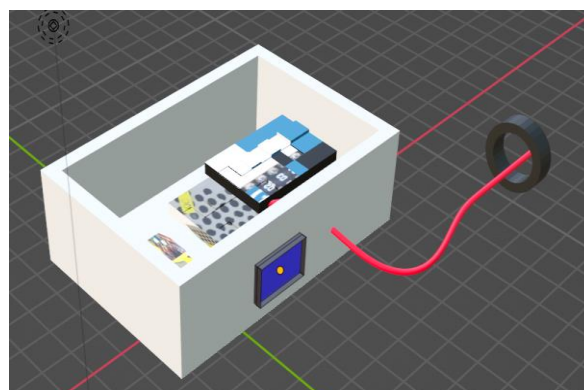


Gambar 2. Diagram Blok Sistem

2.3. Pengembangan Prototipe: Tahap ini melibatkan pengembangan prototipe awal alat ukur daya berbasis IoT berdasarkan konsep yang telah dirancang. Tahap ini melibatkan perakitan perangkat keras, pengkodean perangkat lunak, dan pengujian fungsionalitas.

a. Pengembangan perangkat keras

Dalam pengembangan prototipe perangkat keras untuk alat ukur daya berbasis IoT, langkah pertama adalah merancang rangkaian elektronik yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan [19]. Ini melibatkan pemilihan komponen elektronik yang tepat, seperti sensor arus dan tegangan, mikrokontroler, dan modul komunikasi



Gambar 3. Desain Perangkat Keras

b. Pengembangan perangkat lunak

Pengembangan perangkat lunak dengan menggunakan program Arduino dan platform IoT Blynk melibatkan beberapa tahapan yang saling terkait. Pertama, pengembang akan memprogram mikrokontroler Arduino menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang mudah dipahami. Mereka akan mengembangkan kode program untuk mengendalikan sensor dan perangkat keras lainnya, seperti sensor arus dan tegangan, dan kemudian mengirimkan data tersebut ke

platform IoT Blynk [20]. Gambar 4 memperlihatkan rancangan awal aplikasi.



Gambar 4. Rancangan UI Aplikasi

Setelah mikrokontroler Arduino diprogram, langkah berikutnya adalah mengintegrasikannya dengan platform IoT Blynk. Ini melibatkan pembuatan proyek baru di aplikasi Blynk dan mendesain antarmuka pengguna menggunakan widget yang disediakan, seperti tombol, grafik, atau tampilan nilai. Pengguna kemudian akan mengonfigurasi koneksi antara aplikasi Blynk dan mikrokontroler Arduino menggunakan token otentikasi yang unik.

2.4. Pengujian dan Evaluasi

Prototipe yang dikembangkan kemudian diuji untuk memastikan bahwa alat ukur daya berbasis IoT memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dan berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi penggunaan. Pengujian ini mencakup pengujian kinerja, dan keandalan.

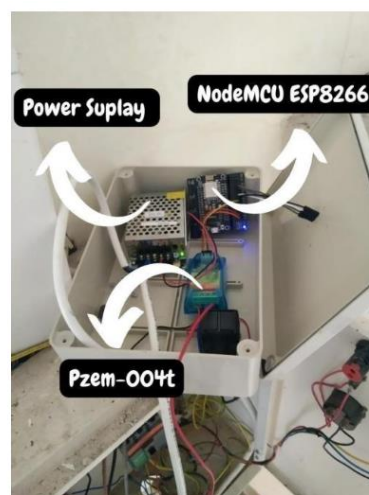
2.5. Analisis data dan hasil

Setelah proses pengumpulan data selesai, dilakukan analisis data untuk mengevaluasi kinerja dan fungsionalitas alat ukur daya berbasis IoT. Data yang dikumpulkan dari pengujian, termasuk hasil pengukuran arus, tegangan, dan daya yang dikirimkan oleh sensor PZEM-004T, dianalisis untuk memverifikasi akurasi pengukuran dan respons alat terhadap perubahan kondisi lingkungan. Hasil analisis ini kemudian dibandingkan dengan standar atau spesifikasi yang ditetapkan sebelumnya untuk memastikan bahwa alat ukur daya berbasis IoT memenuhi persyaratan kinerja yang diinginkan. Selain itu, hasil pengujian juga digunakan untuk mengidentifikasi area-area yang memerlukan perbaikan atau peningkatan dalam desain atau fungsionalitas alat.

3. Hasil dan Pembahasan

Alat monitoring daya listrik berbasis IoT ini memanfaatkan integrasi antara platform Blynk, sensor PZEM-004, modul Wi-Fi ESP8266, dan perangkat smartphone untuk menyediakan pemantauan konsumsi listrik secara real-time. Sensor PZEM-004 berfungsi sebagai pengukur utama, mendeteksi tegangan, arus, dan daya yang dikonsumsi oleh perangkat listrik. Data yang dihasilkan dari sensor ini diteruskan ke modul ESP8266, yang berperan sebagai penghubung utama ke platform Blynk IoT, memungkinkan komunikasi langsung dengan aplikasi pada smartphone melalui jaringan Wi-Fi.

Modul ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler sekaligus modul Wi-Fi yang memproses data dari sensor dan mentransfernya ke server Blynk IoT melalui protokol komunikasi yang ringan dan efisien. Aplikasi Blynk yang dipasang pada smartphone pengguna kemudian mengambil data ini secara real-time dari server, menghadirkan akses yang mudah dan interaktif untuk pemantauan jarak jauh. Hasil perancangan perangkat keras dapat terlihat pada gambar 7.



Gambar 5. Hasil Perancangan Perangkat Keras

Berikut ini adalah algoritma program hasil perancangan perangkat lunak:

```
Program Sensor
Input: sensor
Output: voltage, current, power, energy_kwh,
frequency, powerFactor
Initialization voltage, current, power,
energy, frequency, powerFactor
Get sensor data
voltage = sensor.readvoltage()
current = sensor.readCurrent()
power = sensor.readPower()
energy = sensor.readEnergy()
frequency = sensor.readFrequency()
powerFactor = sensor.readPowerFactor()
Validate Readings
if isnan(voltage) voltage = 0
if isnan(current) current = 0
if isnan(power) power = 0
if isnan(energy) energy = 0
if isnan(frequency) frequency = 0
if isnan(powerFactor) powerFactor = 0
Calculate Power
apparentPower = voltage * current
```

```

    reactivePower = sqrt(apparentPower^2 -
    power^2)
    energy_kwh = energy / 1000
    Display on OLED
    display.clear()
    display.print("Voltage: ", voltage)
    display.print("Current: ", current)
    display.print("Power: ", power)
    display.print("Energy: ", energy_kwh)
    display.print("Frequency: ", frequency) ",
    display.print("Power      Factor: ",
    powerFactor)
    Send Data to Blynk
    Blynk.virtualwrite(v1, voltage)
    Blynk.virtualwrite(v2, current)
    Blynk.virtualwrite(v3, power)
    Blynk.virtualwrite(v4, energy_kwh)
    Blynk.virtualwrite(v5, frequency)
    Blynk.virtualwrite(v6, powerFactor)
    wait 1 second before repeating
    
```

Program ini menggambarkan sistem monitoring daya listrik yang beroperasi dengan memanfaatkan perangkat IoT. Dalam fungsi setup, sistem pertama-tama memuat pustaka yang diperlukan, seperti pustaka Blynk untuk komunikasi IoT, pustaka Wi-Fi untuk koneksi internet, pustaka tampilan OLED, dan pustaka sensor PZEM004. Setelah pustaka dimuat, sistem mengonfigurasi perangkat dengan autentikasi Blynk serta kredensial Wi-Fi yang digunakan untuk menghubungkan ESP8266 ke jaringan lokal. Pada tahap ini, OLED juga diinisialisasi dengan pesan khusus yang menunjukkan status koneksi, memastikan perangkat siap untuk mengirim data ke server Blynk dan menampilkan informasi di layar.

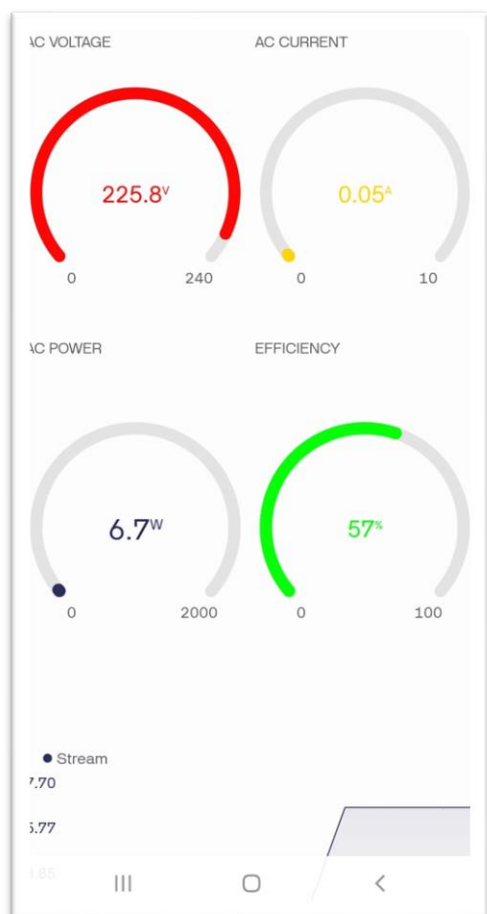
Pada fungsi loop, sistem secara berulang membaca data listrik dari sensor PZEM004, termasuk tegangan, arus, daya aktif, energi, frekuensi, dan faktor daya. Setiap data yang diperoleh divalidasi untuk mencegah adanya nilai tidak valid (NaN) dengan mengganti nilai NaN menjadi nol. Sistem kemudian menghitung daya nyata (VA) dan daya reaktif (VAR) menggunakan formula yang sesuai, yaitu $va1 = power1 / pf1$ dan $VAR1 = power1 / pf1 * \sqrt{1 - sq(pf1)}$, dengan $pf1$ sebagai faktor daya. Nilai-nilai ini ditampilkan secara lokal di layar OLED, sementara nilai yang sama dikirimkan ke server Blynk melalui protokol komunikasi ringan. Pada aplikasi Blynk yang terinstal di smartphone, data ditampilkan dalam bentuk interaktif untuk memudahkan pengguna memantau konsumsi listrik secara jarak jauh dan real-time. Dengan penundaan 1 detik di setiap iterasi, loop berlanjut untuk memperbarui data secara berkelanjutan, memastikan data daya yang akurat dapat diakses kapan saja melalui internet.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian *black-box* aplikasi yang telah dirancang.

Tabel 1. Hasil Pengujian Black-Box

No	Test Case	Input	Expected Output	Actual Output	Status
1	Membaca tegangan sensor	Simulasi sensor: 220V	Voltage: 220V	220V	Sukses
2	Membaca arus sensor	Simulasi sensor: 5A	Current: 5A	5A	Sukses
3	Membaca daya sensor	Simulasi sensor: 1100W	Power: 1100W	1100W	Sukses
4	Membaca energi sensor	Simulasi sensor: 5000Wh	Energy: 5 kWh	5 kWh	Sukses
5	Membaca frekuensi sensor	Simulasi sensor: 50Hz	Frequency: 50Hz	50Hz	Sukses
6	Membaca faktor daya	Simulasi sensor: 0.95	Power Factor: 0.95	0.95	Sukses
7	Validasi NaN tegangan	nilai Sensor pada error (NaN)	Voltage: 0V	0V	Sukses
8	Perhitungan daya nyata (apparent power)	220V, 5A	Apparent Power: 1100VA	1100VA	Sukses
9	Perhitungan daya reaktif (reactive power)	1100VA, 1100W	Reactive Power: 0VAR	0VAR	Sukses
10	Pengiriman data ke Blynk	Data dari sensor	Data terkirim ke Blynk (V1 - V6)	Sukses	Sukses
11	Tampilan OLED menampilkan data yang benar	Data dari sensor	OLED menampilkan data tegangan, arus, dll.	Sukses	Sukses
12	Delay 1 detik sebelum looping	-	Program menunggu 1 detik sebelum mengulang	Sukses	Sukses

Pengujian black-box dilakukan untuk memastikan bahwa setiap fungsi dalam program bekerja sesuai harapan tanpa memeriksa kode internalnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa program berhasil membaca, memvalidasi, menghitung, menampilkan, dan mengirim data sensor dengan benar, termasuk menangani nilai NaN dengan menggantinya ke nol.



Gambar 6 Hasil Program

Setelah pengujian black box, dilakukan pengujian kinerja sistem. Pengujian kinerja (performance testing) adalah proses evaluasi sistem atau perangkat lunak untuk memastikan bahwa ia bekerja dengan baik dalam berbagai kondisi penggunaan. Pengujian ini mencakup pengukuran latensi sistem, keandalan koneksi IoT, ketahanan terhadap gangguan jaringan, serta efisiensi dalam pemrosesan dan pengiriman data. Selain itu, dilakukan simulasi penggunaan dalam jangka waktu tertentu untuk menguji stabilitas sistem ketika beroperasi secara terus-menerus. Hasil pengujian dibandingkan dengan standar performa yang telah ditetapkan guna menilai apakah perangkat mampu berfungsi secara optimal dalam lingkungan nyata. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kinerja sistem yang telah dirancang.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kinerja

No	Pengujian	Parameter	Hasil
1	Latency Test	Waktu dari sensor ke OLED dan Blynk	< 1 detik OLED, < 2 detik Blynk
2	Stress Test	Operasional 24 jam nonstop	Tidak ada crash atau error
3	Throughput Test	Data dikirim ke Blynk per menit	10 data terkirim tanpa delay besar
4	Network Failure Test	Putuskan koneksi hotspot HP	Sistem tetap berjalan dan mengirim ulang data setelah koneksi kembali

No	Pengujian	Parameter	Hasil
5	Reconnect Time Test	Waktu reconnect setelah hotspot mati	< 10 detik
6	Ping Test ke Blynk Cloud	Waktu ping ke server Blynk Cloud	Rata-rata ping < 150ms
7	Power Consumption Test	Konsumsi daya ESP8266	Dalam batas normal (~70-250mA)

Pengujian kinerja dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berbasis ESP8266 dapat beroperasi secara optimal dengan koneksi melalui hotspot dari ponsel dan layanan cloud IoT. Pengujian meliputi pengukuran latensi, daya tahan sistem, kecepatan throughput, serta kemampuan sistem untuk menangani kegagalan jaringan dan proses reconnect. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data dari sensor dapat dikirim dan ditampilkan dengan latensi rendah, di bawah 2 detik untuk platform cloud dan hampir instan untuk tampilan OLED. Selain itu, selama 7 hari pengujian, perangkat mampu berjalan selama 24 jam tanpa mengalami crash atau gangguan signifikan, menunjukkan stabilitas sistem yang baik. Hasil pengujian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan performa sistem

Selain itu, pengujian juga menilai performa jaringan, termasuk waktu ping ke server cloud dan kemungkinan kehilangan data selama pengiriman. Waktu ping diukur menggunakan perintah ping secara berkala dari ESP8266 ke server cloud IoT, mencatat waktu respons dalam milidetik untuk menilai kestabilan koneksi. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu ping tetap stabil di bawah 150 ms. Untuk mengukur kehilangan data, dilakukan perbandingan antara jumlah data yang dikirim oleh ESP8266 dan jumlah data yang diterima oleh server dalam satu jam pengujian. Sistem juga mampu melakukan reconnect dalam waktu kurang dari 10 detik setelah koneksi hotspot terputus, memastikan keandalan dalam kondisi jaringan yang tidak stabil. Pengujian konsumsi daya menunjukkan bahwa perangkat tetap berada dalam batas normal, sehingga dapat dioperasikan dalam jangka panjang tanpa masalah daya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengujian kinerja sistem meliputi kualitas jaringan Wi-Fi, stabilitas daya pada perangkat ESP8266, serta efisiensi algoritma dalam menangani komunikasi data dengan server cloud. Selama pengujian, ditemukan bahwa koneksi jaringan yang tidak stabil dapat menyebabkan peningkatan latensi sesaat, terutama saat terjadi fluktuasi sinyal pada hotspot ponsel. Selain itu, gangguan listrik atau tegangan yang tidak stabil dapat mempengaruhi performa mikrokontroler, meskipun perangkat memiliki mekanisme reconnect otomatis yang cukup andal. Waktu reconnect setelah gangguan jaringan juga bervariasi, dengan rata-rata pemulihan kurang dari 10 detik, namun dalam beberapa kasus mencapai hingga 15 detik tergantung pada kondisi sinyal. Meskipun tidak ditemukan anomali signifikan dalam pemrosesan data sensor, optimalisasi algoritma

pengiriman data dapat dilakukan untuk mengurangi kemungkinan kehilangan paket data dalam kondisi jaringan yang kurang stabil.

Pengujian Ketahanan (Robustness Testing) adalah proses menguji sejauh mana sistem dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi ekstrem atau tidak terduga. Tujuannya adalah memastikan sistem tetap stabil, tidak mengalami crash, dan dapat pulih setelah gangguan seperti putusnya jaringan, pemadaman listrik, atau variasi tegangan.

Dalam perangkat IoT seperti ESP8266, pengujian ini mencakup simulasi gangguan jaringan, pemutusan daya, dan operasi jangka panjang untuk menilai keandalannya. Tabel 3 memperlihatkan hasil uji ketahanan sistem.

Tabel 3. Hasil Uji Ketahanan

No	Pengujian	Parameter	Hasil
1	Network Failure Test	Putuskan koneksi jaringan selama beberapa menit	Sistem tetap berjalan dan data dikirim ulang setelah koneksi kembali
2	Power Interruption Test	Matikan daya secara tiba-tiba lalu nyalakan kembali	Sistem reboot dengan normal dan melanjutkan operasi
3	Low Voltage Test	Kurangi tegangan suplai di bawah batas minimal ESP8266	Perangkat berhenti bekerja, membutuhkan tegangan yang cukup untuk kembali beroperasi
4	Long-Term Operation Test	Jalankan sistem selama 7 hari nonstop	Tidak ada crash atau penurunan performa

Semua pengujian sukses kecuali Low Voltage Test, yang menunjukkan bahwa ESP8266 tidak dapat bekerja di bawah tegangan minimal. Solusi yang disarankan adalah memastikan suplai daya stabil dalam rentang operasi yang direkomendasikan.

Setelah perangkat keras dan perangkat lunak selesai dibangun, kami menguji alat berbasis IoT ini pada sebuah gedung. Kemudian terdapat 10 peralatan listrik yang akan dijadikan sebagai parameter untuk diuji tegangan dan arusnya, yang dikoding menjadi kode A1 sampai A10.

Tabel 4 Hasil Pengukuran

Kode	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Biaya (Rp)
A1	235	0.59	126	142
A2	228	0.29	70.4	42
A3	228	0.07	6.04	4
A4	228	0.06	6.8	40
A5	228	0.18	16	8
A6	229	0.28	63.4	85
A7	230	0.28	63.4	85
A8	229	0.28	63.4	85
A9	227	0.27	71.4	37
A10	227	0.27	61.2	37

Tabel 4 Hasil Pengukuran menyajikan data hasil pemantauan tegangan, arus, daya, dan biaya konsumsi listrik dari berbagai peralatan di Gedung XYZ menggunakan sistem pengukuran berbasis IoT.

Pengambilan data dilakukan secara berkala untuk menganalisis fluktuasi konsumsi daya pada 11 peralatan listrik yang berbeda. Sensor tegangan berbasis IoT yang digunakan memungkinkan pencatatan data real-time, sehingga setiap perubahan nilai tegangan dan arus dapat terdeteksi secara akurat.

Dari tabel, terlihat bahwa tegangan yang tercatat berkisar antara 227V hingga 235V, menunjukkan adanya variasi kecil dalam distribusi daya. Peralatan dengan konsumsi daya yang lebih tinggi, seperti mesin las (A1) berdaya 126 W, cenderung menghasilkan biaya listrik yang lebih besar dibandingkan dengan peralatan yang memiliki daya lebih rendah, seperti printer (A5) yang berdaya 16 W atau charger HP (A3) berdaya 6 W. Selain itu, perbedaan arus yang mengalir ke setiap perangkat juga berkontribusi terhadap variasi daya yang digunakan. Analisis ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan berbasis IoT mampu memberikan informasi detail terkait penggunaan energi, yang dapat dimanfaatkan untuk optimalisasi konsumsi listrik serta deteksi dini terhadap anomali tegangan atau arus.

Tabel 5. Akurasi Sensor

Ruangan	Sensor AC (V)	Voltmeter (V)	Error (%)
Lab Komputer	228	228	0
Lab Instrumentasi	227	227	0
Ruang Kelas	229	226	1,3
Perpustakaan	230	228	0,8
Aula	229	227	0,8

Tabel 5 menyajikan hasil pengukuran tegangan listrik yang dilakukan menggunakan sensor AC berbasis IoT dan dibandingkan dengan voltmeter konvensional di beberapa ruangan di Gedung XYZ. Tujuan utama dari pengukuran ini adalah untuk mengevaluasi akurasi sensor dalam mendeteksi tegangan listrik yang sebenarnya serta menentukan tingkat kesalahan atau error yang terjadi. Dari hasil pengukuran, terlihat bahwa sensor AC mampu memberikan nilai tegangan yang sangat mendekati hasil pengukuran voltmeter, dengan selisih yang relatif kecil. Pada ruangan Lab Komputer dan Lab Instrumentasi, tegangan yang terdeteksi oleh sensor dan voltmeter sama, sehingga error yang dihitung adalah 0%, menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan akurasi tinggi dalam kondisi tersebut.

Namun, pada Ruang Kelas, terjadi perbedaan hasil pengukuran antara sensor AC dan voltmeter, di mana sensor mencatat tegangan sebesar 229V, sementara voltmeter menunjukkan 226V, menghasilkan error sebesar 1,3%. Perbedaan serupa juga terjadi di Perpustakaan dan Aula, dengan error masing-masing sebesar 0,8% akibat perbedaan pengukuran sebesar 1-2V. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti fluktuasi tegangan yang terjadi selama pengukuran, tingkat sensitivitas sensor terhadap noise listrik, atau keterbatasan resolusi pengukuran sensor dibandingkan dengan voltmeter konvensional.

4. Kesimpulan

Perancangan dan pengujian alat monitoring tegangan, arus, dan daya berbasis IoT telah berhasil menyediakan solusi efektif untuk memantau konsumsi energi listrik secara real-time. Sistem ini memungkinkan pengguna mengakses data pemakaian listrik melalui platform berbasis cloud, meningkatkan kesadaran akan penggunaan energi, serta membantu dalam pengelolaan biaya listrik secara lebih efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini memiliki tingkat akurasi tinggi dalam mengukur tegangan, arus, dan daya, serta stabil dalam koneksi IoT. Selain itu, penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut, terutama dalam integrasi dengan kecerdasan buatan (AI) untuk analisis prediktif konsumsi energi, optimasi algoritma untuk mengurangi latensi dalam pengiriman data, serta perluasan implementasi ke sektor industri dan bangunan komersial yang membutuhkan pemantauan energi berskala besar. Dengan perkembangan teknologi IoT yang semakin pesat, perangkat ini dapat terus disempurnakan guna mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan penggunaan listrik di berbagai sektor.

Daftar Rujukan

- [1] U. M. Arief, S. Sukamta, D. Anggriani, and M. U. Dani Atik, "Prediksi ketersediaan tenaga listrik di Jawa Tengah dengan forecast linear dan error trend seasonality menggunakan Excel," *Statistika*, vol. 24, no. 1, 2024.
- [2] Noor, FM, & Rahman, AF. Studi Penerapan Integrasi Sumber Energi Baru Terbarukan dengan Smart grid dan Sistem Pengendalian SCADA. *Prosiding Industrial Research Workshop*, 2020 [jurnal.polban.ac.id, https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/5440](https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/5440)
- [3] Mugandi, NM. Pemeliharaan Jaringan Distribusi SUTM 20 kV (Penyulang Mawar) Di PT. PLN ULP Kampar: Maintenance Of 20 kV SUTM Distribution Network System (Rose Feeder) , *Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2022.
- [4] K. Apriliyanti and D. Rizki, "Kebijakan energi terbarukan: studi kasus Indonesia dan Norwegia dalam pengelolaan sumber energi berkelanjutan," *Jurnal Ilmu Pemerintahan Widya Praja*, 2023
- [5] Widiarto, H., & Suprihartini, Y. "Analisis Kualitas Jalur Distribusi Menggunakan ETAP Power Station 12.6.0 pada Gardu Politeknik Penerbangan Indonesia." *Cendekia: Jurnal Ilmu Pengetahuan*, 2022.
- [6] R. Iswanda, "Rancang Bangun Alat Ukur Daya Listrik Menggunakan Sensor ACS712 dan ZMPT101B," *Universitas Islam Sultan Agung Repository*, 2024.
- [7] D. Kurnianto, A. Wijaya, and M. A. Amanaf, "Sistem Pengisian Token Listrik Jarak Jauh Berbasis IoT pada Alat Ukur Listrik Rumah," *TELKA - Telekomunikasi Elektronika Komputasi dan Kontrol*, vol. 8, no. 1, pp. 14-23, 2022
- [8] D. P. Nur'Aini, "Analisis Performa Transmisi Data Log Berbasis IoT Cloud pada Kunci Pintu Pintar Menggunakan Rekognisi Wajah," *Indonesian Journal of Applied Informatics*, vol. 7, no. 1, pp. 1-12, 2023
- [9] M. T. Muslihi, "Inventory Information System with Internet of Things Implementation," *Jurnal INSYPRO*, 2024
- [10] D. Despa, G. F. Nama, M. A. Muhammad, and T. Septiana, "Teknologi Internet of Things (IoT) Sistem Kelistrikan 3 Phasa dengan Data Real Time Pengukuran Besaran Listrik (Studi Kasus: Pengaruh Covid-19 pada Konsumsi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Lampung)," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 14-23, 2022
- [11] H. Nizam, S. Zafar, Z. Lv, F. Wang, and X. Hu, "Real-Time Deep Anomaly Detection Framework for Multivariate Time-Series Data in Industrial IoT," *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, pp. 22836-22849, 2022.
- [12] K. Nisa and M. A. Ngadha, "Pengembangan Modul Elektronik Berbasis Anchored Instruction pada Materi Ekskresi Siswa Kelas VIII," *Jurnal Pendidikan Biologi*, vol. 13, no. 1, pp. 60-65, 2022.
- [13] M. N. Anggoro, N. Wibowo, and D. S. Y. Kartika, "Rancang Bangun Sistem Informasi KKN LPPM UPN 'Veteran' Jawa Timur Berbasis Web Menggunakan Metode Rapid Application Development," *Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi*, vol. 7, no. 3, pp. 1-8, 2024.
- [14] R. A. Sundari and H. A. Musril, "Pengembangan Sistem Informasi Database Alumni (Studi Kasus: SMAN 1 2x11 Enam Lingkungan)," *Jurnal Telematika*, vol. 15, no. 2, pp. 1-10, 2021.
- [15] S. Gustiani, "Research and development (R&D) method as a model design in educational research and its alternatives," *Holistics*, 2019
- [16] M. Y. Iskandar, H. Hendra, and S. Syafriil, "Developing interactive multimedia for natural science in high school," *International Journal of Multidisciplinary Research of Higher Education*, vol. 5, no. 1, pp. 23-34, 2023
- [17] S. Ansori, P. Hendradi, S. Nugroho, et al., "Penerapan Metode Design Thinking dalam Perancangan UI/UX Aplikasi Mobile SIPROPMAWA," *Journal Of Information System Research* 2023.
- [18] M. Q. Tran, H. P. Doan, and V. Q. Vu, "Machine learning and IoT-based approach for tool condition monitoring: A review and future prospects," *Measurement*, vol. 200, pp. 110680, 2023
- [19] I. B. G. Purwania, I. N. S. Kumara, and M. Sudarma, "Application of IoT-Based System for Monitoring Energy Consumption," *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 145-154, 2020
- [20] P. Y. Dibal, E. N. Onwuka, and S. Zubair, "Processor power and energy consumption estimation techniques in IoT applications: A review," *Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 34-56, 2023