



Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Listrik Berbasis NodeMCU dan Sensor PZEM-004T untuk Optimalisasi Penggunaan Energi pada UMKM Skala Kecil

Rizki Julianto, Sagita Rochman

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

rizkijuli19@gmail.com, sagita@unipasby.ac.id

Abstrak

Sistem listrik Prabayar konvensional mengharuskan pengguna memantau sisa saldo secara langsung pada meter listrik, sehingga kurang praktis dan berpotensi menyebabkan keterlambatan pengisian ulang token. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring konsumsi energi listrik serta top up token Prabayar berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat dipantau dan dikendalikan secara real-time melalui aplikasi Blynk. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, LCD I2C 16×2, keypad 4×4, dan relai sebagai pengendali beban listrik. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap watt meter digital serta menguji fungsi top up, pengurangan saldo, pengendalian relai, dan monitoring melalui Blynk. Hasil pengujian menunjukkan sensor PZEM-004T memiliki error sebesar 0,50% pada tegangan, 4,63% pada daya, 3,97% pada energi, dan 0% pada frekuensi, sedangkan error arus dan faktor daya masing-masing sebesar 14,29% dan 15,69%. Seluruh proses top up, pengurangan saldo otomatis, serta pemutusan dan penyambungan beban melalui relai berhasil bekerja sesuai rancangan. Kesesuaian data antara LCD dan aplikasi Blynk mencapai 100%. Dari lima kategori pengujian fungsional, seluruhnya berhasil sehingga tingkat keberhasilan sistem mencapai 100%. Sistem yang dikembangkan mampu memberikan kemudahan dalam pemantauan konsumsi energi dan pengelolaan saldo listrik Prabayar secara praktis dan real-time, serta mendukung efisiensi penggunaan energi pada UMKM skala kecil melalui pengawasan konsumsi dan pengendalian beban secara otomatis.

Kata Kunci: NodeMCU, PZEM-004T, Monitoring Daya, Kontrol Beban, UMKM Skala Kecil.

Abstract

Conventional prepaid electricity systems require users to directly monitor the remaining balance on the electricity meter, making the process less practical and potentially causing delays in token recharging. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring electrical energy consumption and managing prepaid token top-ups in real time through the Blynk application. The system uses an ESP32 microcontroller, PZEM-004T sensor, 16×2 I2C LCD, 4×4 keypad, and relay for electrical load control. Testing was conducted by comparing sensor readings with a digital watt meter and evaluating top-up functions, automatic balance deduction, relay control, and Blynk monitoring. The results showed that the PZEM-004T sensor produced errors of 0.50% for voltage, 4.63% for power, 3.97% for energy, and 0% for frequency, while the current and power factor errors were 14.29% and 15.69%, respectively. All top-up processes, automatic balance deductions, and load disconnection and reconnection through the relay operated according to the system design. Data consistency between the LCD and Blynk application reached 100%. All five functional testing categories were successfully completed, resulting in an overall system success rate of 100%. The developed system provides practical real-time monitoring of energy consumption and prepaid electricity balance management while supporting efficient energy use in small-scale MSMEs through automated consumption monitoring and load control.

Keywords: NodeMCU, PZEM-004T, Power Monitoring, Load Control, Small-Scale MSMEs

1. Pendahuluan

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) merupakan salah satu sektor yang berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat. Namun, salah satu tantangan yang sering dihadapi UMKM adalah penggunaan energi listrik yang kurang efisien, sehingga berdampak pada biaya operasional yang tinggi (Kementerian Koperasi & UMKM, 2021). Banyak pelaku UMKM tidak memiliki sistem pemantauan penggunaan energi secara *real-time*, sehingga sulit untuk mengendalikan konsumsi listrik secara tepat. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi energi melalui sistem

monitoring dan kontrol yang dapat diakses secara jarak jauh melalui jaringan internet (Suryawan & Handoko, 2020).

Dengan IoT, pengguna dapat memantau informasi daya listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, serta mengendalikan beban listrik secara otomatis ataupun manual melalui aplikasi. Salah satu perangkat mikrokontroler yang banyak digunakan dalam sistem IoT adalah NodeMCU, karena memiliki modul Wi-Fi terintegrasi dan mudah diprogram untuk komunikasi data secara online (Putra, 2020). Untuk pengukuran energi listrik, sensor PZEM-004T menjadi pilihan yang tepat karena mampu mengukur parameter listrik dengan akurasi tinggi dan mendukung komunikasi serial sehingga mudah diintegrasikan dengan NodeMCU (Rahmadani & Chandra, 2021). Melalui integrasi NodeMCU dan sensor PZEM-004T, sistem dapat menampilkan data konsumsi daya secara real-time pada aplikasi seperti Blynk, serta memberikan kontrol terhadap beban listrik melalui relai, sehingga pengguna dapat mengoptimalkan pemakaian energi sesuai kebutuhan operasional UMKM.

Dengan adanya sistem kontrol ini, pelaku UMKM dapat mengurangi pemborosan energi dan menekan biaya listrik, tanpa harus memonitor perangkat secara langsung (Rizki & Pratama, 2022). Energi listrik merupakan faktor penting dalam mendukung operasional Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Pada banyak UMKM, konsumsi listrik sering kali tidak terkelola dengan baik akibat tidak adanya sistem monitoring yang akurat, sehingga menyebabkan pemborosan dan tingginya biaya operasional bulanan.

Menurut penelitian Suryawan (2020), efisiensi energi pada UMKM dapat meningkat hingga 20% apabila dilakukan pemantauan penggunaan listrik secara berkala dan berbasis data. Meskipun demikian, sebagian besar UMKM masih mengandalkan cara manual untuk memantau konsumsi listrik, seperti melihat meteran secara langsung atau memperkirakan pemakaian harian. Hal ini tidak efektif karena data tidak terekam secara real time dan sering menimbulkan kesalahan estimasi. Putra & Hidayat (2021) menyatakan bahwa monitoring manual menyebabkan ketidaktepatan dalam pengelolaan beban listrik dan meningkatkan risiko pemborosan energi. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan solusi untuk melakukan pemantauan dan kontrol energi secara otomatis. Salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam sistem IoT adalah NodeMCU, yang memiliki kemampuan konektivitas Wi-Fi dan fleksibel dalam pengolahan data.

Selain itu, sensor PZEM-004T terbukti mampu mengukur parameter listrik dengan akurat, seperti tegangan, arus, daya, dan energi secara real time (Kurniawan et al., 2022). Kombinasi kedua perangkat tersebut sangat sesuai untuk diterapkan dalam monitoring listrik pada skala kecil seperti UMKM. Oleh karena itu, perlu dilakukan rancang bangun sistem monitoring dan kontrol daya listrik berbasis NodeMCU dan sensor PZEM-004T yang mampu memberikan informasi penggunaan listrik secara *real-time* serta memungkinkan pengendalian perangkat listrik untuk optimalisasi penggunaan energi pada UMKM skala kecil.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun (*research and development*) yang bertujuan menghasilkan sistem monitoring dan kontrol daya listrik berbasis NodeMCU dan sensor PZEM-004T untuk membantu optimalisasi penggunaan energi listrik pada UMKM skala kecil. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, identifikasi masalah, pengumpulan data, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian, serta analisis hasil pengujian. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku, jurnal, dan referensi yang berkaitan dengan Internet of Things (IoT), NodeMCU, sensor PZEM-004T, monitoring energi listrik, modul relai, dan aplikasi Blynk. Identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui kendala dalam pemantauan dan pengendalian penggunaan energi listrik pada UMKM, sedangkan pengumpulan data dilakukan melalui observasi kondisi lapangan, kebutuhan pengguna, karakteristik beban listrik, serta spesifikasi komponen yang digunakan.

Perancangan sistem dilakukan dengan mengintegrasikan NodeMCU sebagai mikrokontroler, sensor PZEM-004T sebagai sensor pengukur parameter kelistrikan, keypad sebagai perangkat input, LCD sebagai media monitoring lokal, modul relai sebagai pengendali aliran listrik, serta Blynk sebagai platform IoT untuk monitoring dan kontrol jarak jauh. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya, energi, faktor daya, dan frekuensi listrik. Data hasil pengukuran diproses oleh NodeMCU dan ditampilkan pada LCD serta dikirimkan melalui jaringan WiFi ke aplikasi Blynk secara real-time. Keypad digunakan untuk memasukkan nilai atau perintah tertentu, termasuk pengaturan batas daya atau saldo energi. Modul relai digunakan untuk menghubungkan dan memutus aliran listrik menuju beban berdasarkan kondisi yang telah ditentukan dalam program.

Cara kerja sistem dimulai dari pemasangan sumber listrik, sensor PZEM-004T, NodeMCU, modul relai, dan beban listrik. Setelah sistem dinyalakan, NodeMCU melakukan koneksi ke jaringan WiFi dan menghubungkan

sistem dengan aplikasi Blynk. Selanjutnya, sensor PZEM-004T membaca parameter kelistrikan pada beban, kemudian data diproses oleh NodeMCU dan ditampilkan pada LCD serta aplikasi Blynk. Sistem secara terus-menerus melakukan monitoring terhadap penggunaan energi listrik. Dalam mekanisme pengendalian, sistem dapat menggunakan batas daya atau saldo energi sebagai parameter kontrol. Apabila daya melebihi batas yang telah ditentukan atau saldo energi mencapai kondisi nol, NodeMCU memberikan perintah kepada modul relai untuk memutus aliran listrik. Sebaliknya, apabila kondisi masih berada dalam batas yang ditentukan, relai tetap dalam kondisi aktif sehingga beban dapat digunakan.

Perangkat keras sistem terdiri atas NodeMCU ESP8266/ESP32, sensor PZEM-004T, LCD 4×20, keypad, modul relai, power supply, stopkontak sebagai keluaran beban, serta casing sebagai pelindung rangkaian. Perangkat lunak yang digunakan meliputi program mikrokontroler dan aplikasi Blynk IoT. Perancangan perangkat dilakukan dengan memperhatikan keamanan rangkaian, kemudahan pengoperasian, dan kemampuan sistem dalam menampilkan informasi kelistrikan secara lokal maupun jarak jauh.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor, keberhasilan komunikasi data, kinerja sistem monitoring, serta respons kontrol relai. Pengujian pembacaan sensor dilakukan dengan membandingkan nilai yang ditampilkan sistem dengan alat ukur pembanding berupa watt meter. Parameter yang dibandingkan meliputi tegangan, arus, daya, energi, faktor daya, dan frekuensi. Persentase kesalahan dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Error} = \frac{|X_{alat} - X_{sistem}|}{X_{alat}} \times 100\%$$

Dengan (X_{alat}) merupakan nilai yang diperoleh dari alat ukur pembanding dan (X_{sistem}) merupakan nilai yang diperoleh dari sistem monitoring. Selain pengujian sensor, dilakukan pengujian terhadap koneksi Blynk, kesesuaian data yang ditampilkan pada LCD dan aplikasi, respons modul relai, serta tingkat keberhasilan keseluruhan sistem.

Pengujian energi dilakukan dengan menghitung perubahan saldo energi berdasarkan nilai energi yang digunakan. Apabila saldo awal sebesar (S_{awal}) dan energi yang digunakan sebesar (E), maka saldo akhir dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Energi top up} = \text{Nominal Top Up} / \text{Tarif Listrik}$$

Untuk mekanisme pengendalian relai digunakan logika bahwa apabila saldo energi masih lebih besar dari nol, relai berada dalam kondisi ON, sedangkan apabila saldo energi kurang dari atau sama dengan nol, relai berubah menjadi OFF. Penambahan saldo energi dihitung berdasarkan nominal top up dan tarif listrik menggunakan persamaan:

$$\text{Saldo akhir} = \text{Saldo awal} - \text{Energi terpakai}$$

Kesesuaian monitoring pada aplikasi Blynk dihitung dengan membandingkan jumlah parameter yang berhasil ditampilkan sesuai dengan jumlah parameter yang diuji menggunakan persamaan:

$$\text{Jika saldo} > 0 \rightarrow \text{Relay ON} \quad | \quad \text{Jika saldo} \leq 0 \rightarrow \text{Relay OFF}$$

Analisis data dilakukan secara deskriptif berdasarkan hasil observasi dan pengujian langsung terhadap sistem. Analisis meliputi akurasi sensor PZEM-004T, kemampuan NodeMCU dalam mengolah dan mengirimkan data, kestabilan monitoring melalui LCD dan Blynk, respons sistem terhadap perubahan beban, serta keberhasilan modul relai dalam melakukan pemutusan dan penyambungan listrik. Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan monitoring dan kontrol penggunaan energi listrik pada UMKM skala kecil serta menilai kesesuaian sistem dengan tujuan perancangan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil rancangan produk pada penelitian ini berupa prototipe sistem monitoring konsumsi energi listrik dan top up token listrik prabayar berbasis Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan ESP32 sebagai

mikrokontroler utama dan sensor PZEM-004T untuk membaca tegangan, arus, daya, energi listrik, frekuensi, dan faktor daya. Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32 untuk menghitung konsumsi energi dan mengurangi saldo token listrik sesuai energi yang digunakan. Sistem dilengkapi LCD I2C 16×2 sebagai media monitoring lokal, keypad 4×4 sebagai media input nominal top up, modul relai sebagai pengendali beban, serta aplikasi Blynk IoT sebagai media monitoring jarak jauh secara real-time.



Gambar 1. Contoh Implementasi Produk Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Listrik

Berdasarkan hasil perancangan, sumber tegangan listrik dari jaringan PLN dialirkan menuju sensor PZEM-004T untuk melakukan pengukuran parameter kelistrikan. Data kemudian diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi. Relai dikendalikan berdasarkan kondisi saldo energi. Apabila saldo masih mencukupi, relai berada pada kondisi ON sehingga beban dapat beroperasi. Sebaliknya, apabila saldo mencapai batas minimum atau habis, relai berubah menjadi OFF dan memutuskan aliran listrik menuju beban. Setelah dilakukan top up, saldo bertambah dan relai kembali menghubungkan aliran listrik.

Sebagai media interaksi pengguna, sistem dilengkapi dengan LCD I2C 16×2 yang menampilkan informasi parameter kelistrikan dan saldo energi secara lokal, serta keypad 4×4 yang digunakan untuk memasukkan nominal top up secara langsung pada alat. Pada perancangan produk tersebut adapun perangkat yang dirangkai didalam kotak box agar komponen tertata dengan rapi dan menjaga kinerja komponen, dan menjaga komponen dari percikan air atau debu.



Gambar 4.2 Alat sistem monitoring



Gambar 3. Komponen dalam box alat sistem monitoring

Pengujian sistem dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sistem monitoring menggunakan sensor PZEM-004T dengan watt meter sebagai alat pembanding. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan parameter kelistrikan secara real-time melalui LCD dan aplikasi Blynk IoT. Nilai yang diperoleh menunjukkan kecenderungan yang sama dengan watt meter, meskipun terdapat perbedaan pada beberapa parameter.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Sistem Monitoring dengan Watt Meter

Parameter	Selisih/Error
Tegangan	1,52%
Arus	14,29%
Daya	4,76%
Energi	4,76%
Frekuensi	0%
Faktor Daya	15,69%

Berdasarkan Tabel 1, pembacaan tegangan memiliki error sebesar 1,52%, daya sebesar 4,76%, energi sebesar 4,76%, dan frekuensi sebesar 0%. Sementara itu, arus memiliki error sebesar 14,29% dan faktor daya sebesar 15,69%. Perbedaan pembacaan dapat dipengaruhi oleh toleransi sensor PZEM-004T, karakteristik alat ukur, proses pembulatan data, waktu pembacaan, serta fluktuasi tegangan jaringan listrik. Error arus yang relatif lebih besar terjadi karena arus yang diukur relatif kecil, sehingga perubahan pembacaan kecil dapat menghasilkan persentase error yang lebih besar. Meskipun demikian, sistem tetap mampu menunjukkan pola pembacaan yang sama dengan watt meter sehingga dapat digunakan sebagai media monitoring konsumsi energi listrik.

Pada pengujian top up melalui keypad, pengguna memasukkan nominal menggunakan keypad 4×4 dan menekan tombol "#" sebagai konfirmasi. Nominal tersebut dikonversi menjadi energi listrik dalam satuan kWh berdasarkan tarif yang telah ditentukan dalam program. Setelah proses konversi selesai, sistem menambahkan saldo energi, menampilkan pesan "TOPUP OK" pada LCD, serta memperbarui saldo pada aplikasi Blynk.

Tabel 2. Hasil Pengujian Top Up melalui Keypad

Nominal (Rp)	Tambahan (kWh)	Saldo Awal	Saldo Akhir	Status
5.000	3,461	0,500	3,961	Berhasil
10.000	6,922	0,692	7,614	Berhasil
20.000	13,844	1,000	14,844	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh nominal yang dimasukkan dapat diproses dengan baik tanpa terjadi kesalahan perhitungan. Sebagai contoh, top up sebesar Rp10.000 menghasilkan tambahan saldo sebesar 6,922 kWh, sehingga saldo yang semula 0,692 kWh menjadi 7,614 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma konversi nominal rupiah menjadi energi listrik telah berjalan sesuai dengan perancangan.

Pengujian pengurangan saldo dilakukan dengan menghubungkan beban listrik pada sistem sehingga sensor PZEM-004T dapat membaca energi yang digunakan. Nilai energi yang terukur digunakan sebagai dasar pengurangan saldo. Hasil pengujian menunjukkan bahwa saldo energi berkurang secara bertahap sesuai dengan konsumsi energi listrik. Pada pengujian selama 60 menit, energi meningkat dari 0,000 kWh menjadi 0,026 kWh, sedangkan saldo energi menurun dari 0,692 kWh menjadi 0,666 kWh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengurangi saldo berdasarkan konsumsi energi aktual dan bukan berdasarkan lamanya waktu penggunaan.

Pengujian relai dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memutus dan menyambungkan aliran listrik berdasarkan kondisi saldo energi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Relai

Kondisi Pengujian	Saldo Energi (kWh)	Status Relai	Kondisi Beban	Keterangan
Saldo awal setelah top up	6,922	ON	Menyala	Berhasil
Saldo masih di atas batas minimum	3,500	ON	Menyala	Berhasil
Saldo mendekati batas minimum	0,100	ON	Menyala	Berhasil
Saldo mencapai batas minimum	0,000	OFF	Padam	Berhasil
Setelah dilakukan top up kembali	6,922	ON	Menyala	Berhasil

Berdasarkan Tabel 3, relai berhasil bekerja sesuai dengan logika sistem. Selama saldo masih berada di atas batas minimum, relai tetap ON dan beban dapat beroperasi. Ketika saldo mencapai 0,000 kWh, ESP32 secara otomatis mengubah status relai menjadi OFF sehingga aliran listrik menuju beban terputus. Setelah dilakukan top up, relai kembali ON dan beban dapat digunakan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menerapkan mekanisme pengendalian daya sebagaimana konsep listrik Prabayar.

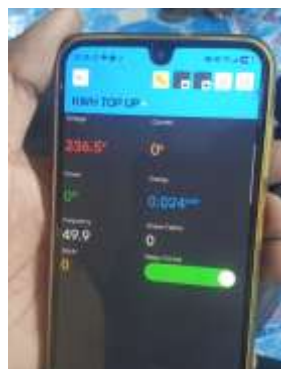
Pengujian monitoring melalui Blynk dilakukan dengan menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi dan mengirimkan data sensor PZEM-004T ke aplikasi Blynk. Parameter yang ditampilkan meliputi tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, faktor daya, saldo energi, dan status relai.

Tabel 4. Hasil Pengujian Monitoring Blynk

Parameter	LCD	Blynk	Status
Tegangan	✓	✓	Sesuai
Arus	✓	✓	Sesuai
Daya	✓	✓	Sesuai
Energi	✓	✓	Sesuai
Frekuensi	✓	✓	Sesuai
Faktor Daya	✓	✓	Sesuai
Saldo Energi	✓	✓	Sesuai



Gambar 4. Fitur didalam aplikasi BLYNK



Gambar 5. Fitur didalam aplikasi BLYNK

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8, seluruh parameter kelistrikan yang dibaca oleh sensor PZEM-004T berhasil ditampilkan pada aplikasi Blynk sesuai dengan data yang ditampilkan pada LCD sistem. Parameter yang dimonitor meliputi tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, faktor daya, saldo energi, dan status relai. Seluruh parameter dapat diterima oleh aplikasi melalui jaringan internet tanpa mengalami kehilangan data selama proses pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter berhasil ditampilkan pada aplikasi Blynk sesuai dengan data yang ditampilkan pada LCD. Data monitoring dapat diperbarui dalam waktu sekitar 1–2 detik selama perangkat terhubung dengan jaringan internet. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32 dan platform Blynk berjalan dengan baik dan mampu mendukung monitoring konsumsi energi listrik secara real-time melalui smartphone.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring konsumsi energi listrik prabayar berbasis Internet of Things (IoT) telah mampu menjalankan seluruh fungsi yang dirancang. Sensor PZEM-004T berhasil membaca parameter kelistrikan, ESP32 mampu mengolah data, keypad dapat digunakan untuk proses top up, saldo dapat dikurangi berdasarkan konsumsi energi, relai dapat memutus dan menyambungkan beban secara otomatis, serta Blynk mampu menampilkan data secara real-time.

Analisis Data

Analisa Monitoring Parameter

Analisis monitoring parameter kelistrikan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PZEM-004T dengan watt meter pada parameter tegangan, arus, daya, energi listrik, frekuensi, dan faktor daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter berhasil ditampilkan melalui LCD dan aplikasi Blynk dengan nilai yang memiliki kecenderungan sama dengan watt meter.

Hasil perhitungan menunjukkan nilai error tegangan sebesar 1,52%, arus 14,29%, daya 4,76%, energi 4,76%, faktor daya 15,69%, dan frekuensi 0%. Perbedaan pembacaan dapat dipengaruhi oleh toleransi sensor, karakteristik alat ukur, pembulatan data, waktu pembacaan, serta fluktuasi tegangan jaringan listrik. Meskipun terdapat perbedaan, sistem masih mampu melakukan monitoring dengan baik.

Selain monitoring melalui LCD, sistem juga berhasil mengirimkan data ke aplikasi Blynk secara real-time melalui ESP32. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara sensor, ESP32, dan platform IoT berjalan dengan baik. Dengan demikian, sistem mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan sekaligus mendukung pemantauan jarak jauh sesuai dengan tujuan penelitian.

Analisa Top Up Melalui Keypad

Analisis top up melalui *keypad* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menerima masukan nominal dari pengguna, mengolah data tersebut, dan menambah saldo energi listrik sesuai dengan tarif yang telah ditentukan. Pada saat pengujian, pengguna memasukkan nominal top up menggunakan keypad 4×4. Data yang diterima berupa karakter angka kemudian diproses oleh ESP32 menjadi nilai numerik. Selanjutnya sistem menghitung besarnya saldo energi menggunakan tarif listrik yang telah ditentukan dalam program. Setelah proses perhitungan selesai, saldo energi bertambah sesuai hasil konversi dan informasi keberhasilan ditampilkan pada LCD melalui pesan "TOPUP OK".

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh nominal yang dimasukkan dapat diproses dengan baik tanpa terjadi kesalahan perhitungan. Saldo energi bertambah sesuai dengan hasil konversi yang dilakukan oleh sistem. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma perhitungan top up telah berjalan sesuai dengan rancangan. Selain itu, pembaruan saldo juga berhasil dikirimkan ke aplikasi Blynk sehingga pengguna dapat langsung mengetahui perubahan saldo melalui smartphone.

Keberhasilan proses top up membuktikan bahwa integrasi antara keypad, ESP32, LCD, dan aplikasi Blynk telah bekerja secara optimal. Dengan adanya fitur ini, sistem mampu mensimulasikan proses pembelian token listrik sebagaimana konsep listrik prabayar yang diterapkan oleh PLN.

Tabel 5. Analisa Top Up keypad

Nominal (Rp)	Tambahan (kWh)	Saldo Awal	Saldo Akhir	Status
5000	3,461	0,500	3,961	Berhasil
10000	6,922	0,692	7,614	Berhasil
20000	13,844	1,000	14,844	Berhasil

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nominal Rp10.000 menghasilkan tambahan saldo sebesar 6,922 kWh. Setelah proses top up dilakukan, saldo yang semula sebesar 0,692 kWh bertambah menjadi 7,614 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma konversi nominal rupiah menjadi energi listrik telah berjalan sesuai dengan perhitungan yang dirancang pada program ESP32.

Analisa Pengurangan Saldo

Analisis pengurangan saldo dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengurangi saldo energi berdasarkan konsumsi energi listrik yang digunakan oleh beban.

Pada penelitian ini, mekanisme pengurangan saldo tidak didasarkan pada lamanya waktu penggunaan, melainkan berdasarkan energi listrik (kWh) yang terbaca oleh sensor PZEM-004T. Setiap perubahan nilai energi yang terbaca akan dihitung oleh ESP32 sebagai energi yang telah digunakan, kemudian nilai tersebut dikurangi dari saldo energi yang dimiliki pengguna.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa saldo energi berkurang secara bertahap selama beban digunakan. Semakin besar daya beban yang digunakan, semakin cepat pula saldo energi berkurang. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan pengurangan saldo berdasarkan konsumsi energi listrik yang sebenarnya, sehingga mekanisme yang diterapkan lebih mendekati prinsip kerja sistem listrik Prabayar.

Selain itu, saldo yang telah berkurang langsung diperbarui pada LCD dan aplikasi Blynk. Dengan demikian, pengguna dapat mengetahui jumlah saldo yang tersisa secara real-time. Fitur ini memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengontrol penggunaan energi listrik agar tidak melebihi saldo yang tersedia.

Perhitungan menunjukkan bahwa penggunaan energi sebesar 0,004 kWh mengurangi saldo dari 0,689 kWh menjadi 0,685 kWh. Proses pengurangan saldo dilakukan secara otomatis berdasarkan nilai energi yang dibaca sensor PZEM-004T. Dengan demikian, sistem mampu mensimulasikan mekanisme kerja meter listrik Prabayar, di mana saldo energi terus berkurang sesuai dengan konsumsi energi beban.

Analisa Pengendalian Relai

Analisis pengendalian relai dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan pemutusan dan penyambungan aliran listrik secara otomatis berdasarkan kondisi saldo energi. Relai berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32. Selama saldo energi masih berada di atas batas minimum, relai berada pada kondisi aktif sehingga aliran listrik menuju beban tetap tersambung. Ketika saldo energi mencapai batas minimum atau habis, ESP32 mengirimkan sinyal untuk menonaktifkan relai sehingga aliran listrik menuju beban terputus.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa relai bekerja sesuai dengan logika program yang telah dirancang. Pemutusan aliran listrik terjadi secara otomatis ketika saldo energi habis dan tidak memerlukan intervensi pengguna. Setelah dilakukan proses top up, relai kembali aktif sehingga aliran listrik tersambung kembali dan beban dapat digunakan seperti semula. Keberhasilan pengendalian relai menunjukkan bahwa sistem mampu menerapkan konsep otomatisasi yang menjadi salah satu karakteristik utama sistem listrik Prabayar. Selain meningkatkan efisiensi penggunaan energi, fitur ini juga dapat membantu pengguna mengontrol konsumsi listrik sesuai dengan saldo yang dimiliki.

Tabel 6. Analisa Pengendalian Relai

Saldo	Status Relai	Kondisi Beban
5,000	ON	Menyala
2,000	ON	Menyala
0,500	ON	Menyala
0,000	OFF	Padam

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh saldo akhir sebesar -0,001 kWh. Karena saldo telah mencapai atau melewati batas minimum yang ditentukan, sistem secara otomatis memberikan perintah kepada relai untuk memutus aliran listrik menuju beban. Hasil ini menunjukkan bahwa fungsi proteksi sistem bekerja sesuai dengan logika program sehingga beban tidak dapat digunakan ketika saldo telah habis.

Analisa Monitoring Melalui Blynk

Analisis monitoring melalui aplikasi Blynk dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke platform *Internet of Things* sehingga dapat dipantau secara real-time melalui smartphone. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh parameter kelistrikan berhasil ditampilkan pada aplikasi Blynk sesuai dengan data yang ditampilkan pada LCD. Parameter yang berhasil dimonitor meliputi tegangan, arus, daya, energi listrik, faktor daya, frekuensi, saldo energi, dan status relai. Hal ini menunjukkan bahwa proses komunikasi data antara ESP32 dan server Blynk berjalan dengan baik.

Selama proses pengujian, kecepatan pembaruan data dipengaruhi oleh kualitas jaringan internet. Pada kondisi jaringan yang stabil, data dapat diperbarui dalam waktu singkat. Sebaliknya, ketika koneksi internet mengalami gangguan, pembaruan data menjadi lebih lambat. Meskipun demikian, data tetap berhasil dikirimkan setelah koneksi kembali normal sehingga fungsi monitoring tetap dapat berjalan dengan baik.

Tabel 7. Analisa monitoring BLYNK

Parameter	LCD	Blynk	Status
Tegangan	234,5	234,5	Sesuai
Arus	0,2	0,2	Sesuai
Daya	22	22	Sesuai
Energi	0,022	0,022	Sesuai
Saldo	0,670	0,670	Sesuai
Relai	ON	ON	Sesuai

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh parameter yang dikirim oleh ESP32 berhasil diterima dan ditampilkan pada aplikasi Blynk sehingga tingkat keberhasilan monitoring mencapai 100%. Hal ini membuktikan bahwa komunikasi data antara ESP32 dan server Blynk berjalan dengan baik, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara *real-time* melalui smartphone selama perangkat terhubung ke jaringan internet.

Tabel 8. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian	Hasil
Monitoring Parameter	Berhasil
Top Up Keypad	Berhasil
Pengurangan Saldo	Berhasil
Relay	Berhasil
Monitoring Blynk	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh tingkat keberhasilan sistem sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama bekerja sesuai dengan rancangan. Sistem tidak hanya mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan sebagaimana watt meter, tetapi juga memiliki fitur tambahan berupa pengelolaan saldo energi, top up melalui keypad, monitoring jarak jauh melalui Blynk, serta pemutusan dan penyambungan beban secara otomatis. Dengan demikian, sistem yang dirancang telah memenuhi tujuan penelitian sebagai prototipe monitoring dan pengelolaan energi listrik prabayar berbasis Internet of Things (IoT).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian, sistem monitoring dan kontrol daya listrik berbasis NodeMCU/ESP32, sensor PZEM-004T, relai, keypad, LCD, dan Blynk berhasil dibangun dan berfungsi sesuai rancangan untuk memantau tegangan, arus, daya, energi, faktor daya, dan frekuensi secara real-time. Fitur saldo listrik juga berhasil diterapkan, mulai dari proses top up, pengurangan saldo berdasarkan konsumsi energi, hingga pemutusan aliran listrik secara otomatis ketika saldo mencapai batas minimum. Hasil pengujian menunjukkan error tegangan sebesar 0,50%, daya 4,63%, energi 3,97%, frekuensi 0%, arus 14,29%, dan faktor daya 15,69%, sedangkan seluruh lima kategori pengujian berhasil dengan tingkat keberhasilan sistem sebesar 100% dan kesesuaian data LCD dengan Blynk sebesar 100%. Sistem dinilai layak digunakan sebagai solusi monitoring dan kontrol energi listrik pada UMKM skala kecil. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan menambahkan penyimpanan saldo menggunakan Preferences atau EEPROM pada ESP32 agar saldo tidak hilang saat alat dimatikan atau terjadi pemadaman listrik, serta menambahkan indikator LED atau buzzer sebagai peringatan ketika saldo listrik hampir habis.

Reference

1. Ahmed, S. (2020). Evaluation of Household Energy Consumption Based on kWh Data Analysis. *Energy Reports Journal*.
2. Anwar, M. R., Paramyta, N., Fitriani, E., & Ariyadi, T. (2024). Perancangan Sistem Switching Supply Power dan Monitoring Perangkat pada UPS Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(1), 10078–10086.
3. Adfry, D. P., Muskhair, M., & Luthfi, A. (2023). Efektivitas Pembelajaran Pemograman Mikrokontroler Menggunakan Aplikasi Arduino IDE. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 4(2). <https://doi.org/10.24036/jpte.v4i2.312>
4. Asro Laili, M., Sumiati, & Triayudi, A. (2022). Pendekatan NodeMCU dan Apps Blynk Berbasis Android untuk Sistem Monitoring Keamanan Kendaraan Motor. *JSiI (Jurnal Sistem Informasi)*, 9(2), 119–125. <https://doi.org/10.30656/jsii.v9i2.5161>
5. BSN. (2022). *Standar Nasional Indonesia Instalasi Listrik Tegangan Rendah*. Badan Standardisasi Nasional.
6. Espressif Systems. (2024). *ESP32 Series Datasheet*. Espressif Systems Inc.
7. Fadhliah, M. (2022). Development of IoT-Based Blynk Platform for Real-Time Electrical Energy Monitoring. *Journal of Information Technology Systems*.
8. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2020). Internet of Things for Smart Energy Management Systems. *Future Generation Computer Systems*.
9. Hadisusila, C. P. (2023). Aplikasi Arduino dalam Teknik I/O untuk Mengintegrasikan dan Mengendalikan Perangkat Elektronik. *Jurnal Nusantara Of Engineering*, 6(2), 96–103.
10. Hasannudin, H., et al. (2022). Performance Evaluation of PZEM-004T Sensor on IoT-Based Smart Monitoring System. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*.
11. Hidayat, M. (2022). Implementation of Prepaid Electricity Metering System for Household Energy Control. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*.
12. Kurniawan, A., Putra, R. A., & Santoso, H. (2022). Interfacing LCD with Microcontroller Using I2C Communication. *Journal of Embedded and IoT Systems*, 4(2), 35–44.
13. Kurniawan, A. D., Radianto, D., & Luqman, M. (2024). Perancangan Inverter Satu Fasa dengan Sistem Pengaturan Modulasi Lebar Pulsa Menggunakan Fast PWM. *Jurnal Elkolind*, 11(1), 169–180.
14. Kurniawan, D. (2021). IoT-Based Energy Monitoring System for Residential Electricity Consumption. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*.
15. Monk, S. (2023). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
16. Peacefair. (2020). *PZEM-004T AC Digital Multifunction Power Meter Module Datasheet & User Manual*. Peacefair Electronic.
17. Putra, R., & Nugroho, S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Berbasis IoT Menggunakan PZEM-004T. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*.
18. Rahman, A., et al. (2021). Design of IoT-Based Electrical Energy Monitoring System Using PZEM Module. *Journal of Electrical and Power Systems*.
19. Siregar, H., Lubis, A., & Fadlilah, N. (2020). Perancangan Sistem Kendali Perangkat Listrik Menggunakan Modul Relay. *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*.
20. Widodo, B., Hartono, E., & Setiawan, R. (2024). Pengembangan Sistem Monitoring Real-Time Berbasis NodeMCU dan Blynk. *Jurnal Elektronika Terapan*.