

SISTEM MONITORING DAN PENGENDALIAN KUOTA DAYA LISTRIK BERBASIS IOT DENGAN PENYIMPANAN EEPROM DAN PROTEKSI UPS

Ratnasari Nur Rohmah¹, Abimanyu²

¹Jurusan Teknik Ekektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: ratnasarinnur@gmail.com

Abstrak

Energi listrik merupakan sumber daya utama dalam menjalankan berbagai perangkat elektronik dan aktivitas manusia. Namun pada lingkungan dengan pengguna daya yang banyak, konsumsi listrik sering kali tidak terkontrol sehingga menimbulkan pemborosan. Penelitian ini mengusulkan sistem monitoring dan pengendalian kuota daya listrik berbasis IoT yang memungkinkan pengguna membatasi pemakaian daya maksimum melalui smartphone. Sistem dirancang menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, serta energi listrik secara real-time. Kuota daya dapat dimasukkan oleh pengguna dan nilai tersebut disimpan pada EEPROM, sehingga data tetap tersimpan meskipun alat kehilangan sumber daya atau restart. Mekanisme pemutusan listrik dikendalikan oleh Solid State Relay (SSR), sementara UPS digunakan untuk menghilangkan jeda switching agar perangkat tetap aktif saat suplai listrik terputus. Pengujian menunjukkan sistem bekerja sesuai rancangan: kuota dapat ditambah, dikurangi sesuai pemakaian, pemberitahuan buzzer muncul pada sisa kuota <10 kWh, dan listrik terputus otomatis saat kuota habis. Penyimpanan data melalui EEPROM memungkinkan perhitungan kuota tetap berlanjut setelah perangkat restart. Sistem ini berpotensi diterapkan pada rumah tangga, fasilitas umum, maupun instalasi multi-pengguna untuk mengurangi pemborosan listrik dan meningkatkan efisiensi pemakaian daya.

Kata kunci: *IoT; monitoring daya listrik; kontrol daya.*

Pendahuluan

Listrik merupakan salah satu sumber energi yang paling esensial dalam kehidupan modern dan digunakan hampir pada seluruh aktivitas berbasis teknologi. Ketersediaan dan kualitas pasokan listrik sangat menentukan kinerja perangkat elektronik, sehingga gangguan atau ketidakstabilan daya dapat berdampak langsung pada berbagai peralatan yang memerlukan suplai energi konstan. Seiring pertumbuhan penduduk, Indonesia tercatat sebagai salah satu negara dengan tingkat konsumsi listrik yang terus meningkat setiap tahun. Konsumsi listrik nasional mencapai 1.109 kWh/kapita pada kuartal III 2021 dan diproyeksikan menyentuh 1.2 kWh/kapita pada 2022 (Natalia et al., 2022; Rufiatun et al., 2023). Peningkatan konsumsi listrik nasional didorong oleh pertumbuhan ekonomi, peningkatan elektrifikasi, dan perubahan pola konsumsi masyarakat (Mohi et al., 2025). Peningkatan tersebut menunjukkan urgensi pengelolaan daya listrik yang lebih efisien, terutama pada lingkungan dengan banyak pengguna.

Pada praktiknya, konsumsi listrik pada fasilitas umum, rumah tinggal berpenghuni banyak, atau sistem multi-beban seringkali tidak terkontrol (Gul & Patidar, 2015). Pemerintah telah menyediakan kWh meter untuk mengukur penggunaan daya secara real-time, namun alat tersebut belum mendukung monitoring dan pengendalian terpusat ketika digunakan pada banyak outlet dalam satu jaringan. Kondisi ini membuka peluang pengembangan sistem yang tidak hanya memonitor konsumsi, tetapi juga mampu mengendalikan kuota daya listrik secara cerdas berbasis IoT (*Internet of Things*) (Rao et al., 2025). Beberapa penelitian terdahulu telah mengimplementasikan monitoring energi listrik berbasis IoT (Rohmah et al., 2022), pemutus kWh berbasis proteksi Arduino (Abadi et al., 2021), serta pengukuran daya menggunakan sensor PZEM-004T untuk akuisisi tegangan, arus, dan energi (Amalia et al., 2021; Amri et al., 2023). Namun, sistem tersebut umumnya hanya berfokus pada monitoring atau proteksi tanpa mekanisme kuota daya dan tidak memiliki penyimpanan data yang aman saat perangkat kehilangan suplai listrik.

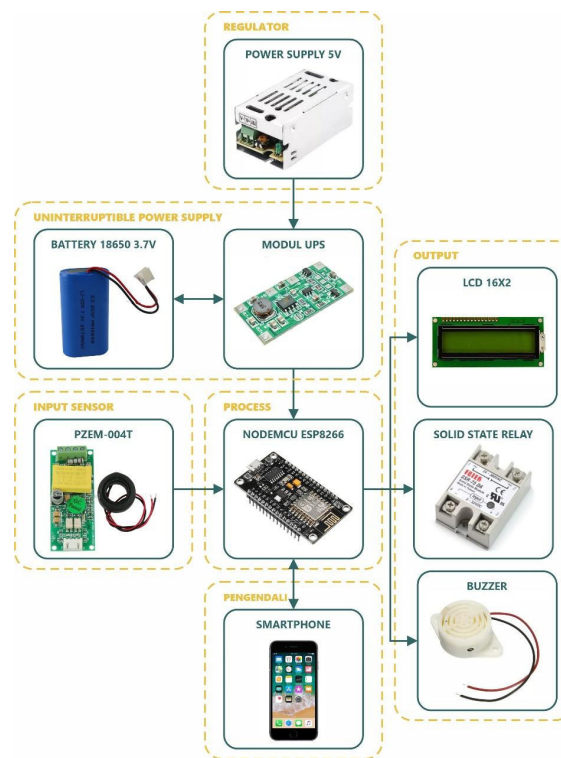
Sistem monitoring dan pengendalian daya listrik merupakan bagian penting dalam pengelolaan energi, terutama pada lingkungan dengan banyak pengguna dan beban listrik yang bervariasi. Monitoring daya bertujuan untuk memperoleh informasi besaran listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi secara real time, sedangkan pengendalian berfungsi untuk membatasi atau mengatur pemakaian daya sesuai kebutuhan pengguna. Penerapan

sistem monitoring yang terintegrasi dengan mekanisme kendali memungkinkan pengambilan keputusan secara otomatis ketika terjadi kondisi tertentu, seperti kelebihan beban atau batas penggunaan energi yang telah ditentukan.

Dalam perkembangannya, sistem pengendalian listrik tidak hanya difokuskan pada pemutusan dan penyambungan daya, tetapi juga pada peningkatan efisiensi dan keandalan operasi. Penelitian terkait menunjukkan bahwa sistem kendali yang dirancang dengan baik mampu memberikan respon cepat terhadap perubahan kondisi beban, sehingga dapat mencegah pemborosan energi serta meningkatkan keamanan instalasi listrik (Supardi et al., 2022). Penelitian terkait transfer daya listrik menunjukkan bahwa perubahan parameter kelistrikan, seperti jarak dan karakteristik penghantar, dapat memengaruhi besaran daya yang diterima oleh beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tidak ideal kondisi sistem, maka daya yang dapat dimanfaatkan akan semakin menurun. Temuan ini menegaskan pentingnya sistem monitoring yang mampu membaca perubahan daya secara akurat agar pengendalian energi dapat dilakukan dengan tepat (Saputra et al., 2016).

Penelitian ini mengusulkan sistem monitoring dan pengendalian kuota daya listrik berbasis IoT dengan keunggulan berupa penyimpanan data kuota melalui EEPROM, sehingga nilai daya tidak hilang meskipun perangkat mengalami restart. Sistem juga dilengkapi *UPS* untuk menjaga perangkat tetap aktif saat suplai utama terputus sehingga tidak terjadi delay koneksi saat perangkat kembali aktif. Mekanisme pemutusan beban dikendalikan menggunakan *Solid State Relay (SSR)* untuk mempercepat switching tanpa *contact bounce* (Abduraimov & Khalmanov, 2020; Kitzmiller et al., 2023). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya melakukan monitoring, tetapi juga mengendalikan daya dalam bentuk kuota yang dapat diatur melalui *smartphone*, sehingga memberikan solusi nyata dalam mencegah pemborosan energi dan meningkatkan efisiensi pemakaian listrik pada instalasi multi-beban.

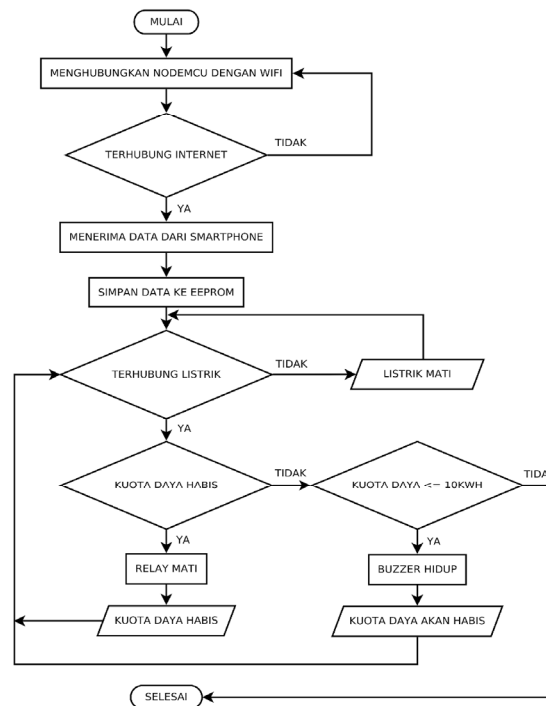
Metode



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Monitoring dan Pengendalian Kuota Daya Listrik Berbasis *IoT*

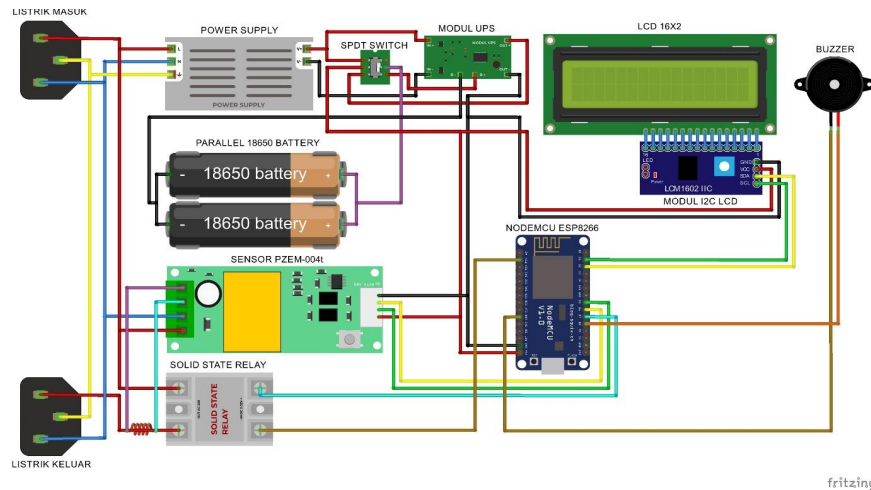
Gambar 1 menunjukkan diagram perancangan keseluruhan sistem monitoring dan pengendalian penggunaan daya listrik. Sistem ini terdiri dari enam bagian utama, yaitu input sensor, regulator, UPS, proses, pengendali, dan output. Pada bagian sensor digunakan modul PZEM-004T untuk mengukur dan mendeteksi besaran tegangan serta arus listrik AC 220 volt. Proses pengendalian dilakukan oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266, yang telah dilengkapi modul Wi-Fi sehingga memungkinkan perangkat terhubung ke internet dan berkomunikasi dengan sistem kendali jarak jauh. Pengendalian alat oleh *user* dilakukan melalui *smartphone* menggunakan aplikasi Blynk, di mana pengguna dapat memonitor dan mengatur daya listrik secara daring melalui koneksi internet. Sistem memiliki tiga komponen output, yaitu *LCD 16x2*, *buzzer*, dan *SSR (Solid State Relay)*. *LCD* berfungsi menampilkan informasi

tegangan, arus, total daya terpakai, serta sisa kuota daya yang masih tersedia. *Buzzer* digunakan sebagai *alarm* peringatan ketika kuota daya mulai menipis, sedangkan *SSR* berperan memutus atau menyambungkan aliran listrik sesuai kondisi kuota daya. Seluruh rangkaian memperoleh suplai daya dari regulator 5V yang terhubung ke *UPS*, sehingga perangkat tetap menyala meskipun sumber listrik utama terputus. Dengan adanya *UPS*, sistem tetap dapat beroperasi melalui tenaga baterai tanpa mengalami *restart*.



Gambar 2. Flowchart cara kerja alat

Alur kerja sistem monitoring dan pengendalian kuota daya listrik ditampilkan pada Gambar 2. Tahap pertama yang dilakukan perangkat adalah memastikan bahwa NodeMCU telah terhubung ke jaringan internet sehingga mampu mengirim dan menerima data melalui aplikasi Blynk pada smartphone. Setiap data yang diterima kemudian disimpan pada EEPROM agar tetap tersimpan meskipun perangkat mati atau kehilangan catu daya. Selanjutnya, sistem akan memeriksa ketersediaan suplai listrik 220volt AC. Jika sumber listrik tidak terdeteksi, *LCD* akan menampilkan notifikasi "**listrik mati**" sebagai penanda kondisi tersebut. Setelah aliran listrik terhubung, alat akan membaca sisa kuota daya yang tersedia. Apabila kuota telah habis, *SSR* (relay) akan berada dalam kondisi mati sehingga beban listrik tidak dapat digunakan. Bila sisa kuota berada di bawah 10 kWh, buzzer akan aktif sebagai alarm peringatan dan *LCD* menampilkan informasi bahwa kuota mendekati batas minimum. Daya listrik yang dipantau dan dikendalikan pada sistem ini merupakan **daya aktif (Watt)** sebagai parameter utama penggunaan energi.



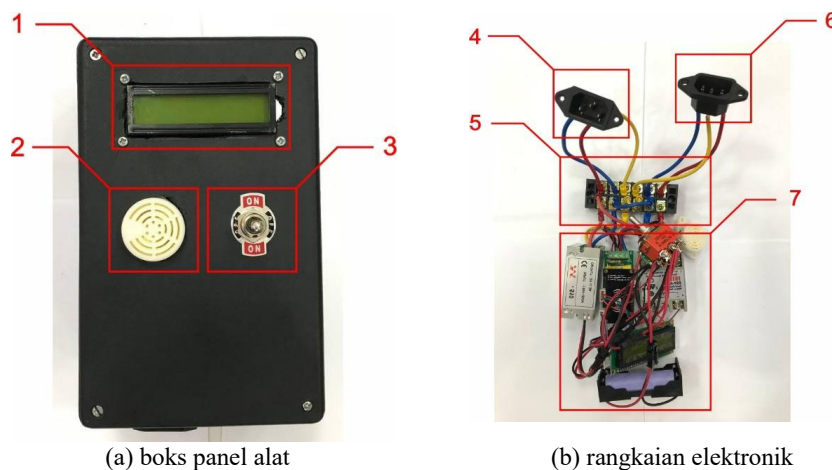
Gambar 3. Diagram skematik rangkaian elektronik

Gambar 3 memperlihatkan rangkaian elektronika pada sistem monitoring dan pengendalian kuota daya listrik. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dan pengendali utama. Sistem ini menggunakan sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan serta arus listrik, yang berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui jalur komunikasi serial SCL dan SDA. Sedangkan LCD 16x2 terhubung melalui modul I2C dan menerima data secara serial melalui pin Rx–Tx dengan alamat perangkat 0x27. Buzzer digunakan sebagai indikator suara dan dikendalikan langsung melalui pin digital pada mikrokontroler. Sementara itu, aliran listrik ke beban dikontrol oleh *Solid State Relay* (SSR) yang bekerja berdasarkan sinyal pemicu dari NodeMCU. Seluruh rangkaian disuplai menggunakan *power supply* 5V DC yang terintegrasi dengan UPS dan baterai, sehingga perangkat tetap menyala meskipun sumber listrik utama terputus.

Hasil dan Pembahasan

Alat yang telah dikembangkan diperlihatkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 (a) terlihat box panel hasil perakitan dengan bahan plastik berukuran X6 (18,3 × 11,5 × 6 cm). Pada bagian penutup depan box terpasang LCD 16×2, buzzer, serta saklar on/off sebagai antarmuka utama pengguna. Sementara itu, Gambar 4 (b) menunjukkan rangkaian sistem tanpa box, yang terdiri dari konektor AC plug panel sebagai input dan output listrik 220 volt AC, serta terminal kabel yang berfungsi untuk pengaturan jalur pengkabelan fasa, netral, dan ground.

Rangkaian elektronika pada alat telah terintegrasi dengan mikrokontroler dan modul sensor sehingga mampu menjalankan fungsi pengendalian kuota daya sesuai program yang dirancang. Dalam pemasangannya, alat ditempatkan setelah kWh meter PLN sehingga kuota daya dapat didistribusikan dan dikendalikan secara terpisah untuk setiap titik sesuai kebutuhan pengguna.



(a) boks panel alat

(b) rangkaian elektronik

Gambar 4. Tampilan perangkat keras yang dikembangkan

Hasil Pengujian Beban

Pengujian beban dilakukan untuk mengetahui karakteristik kenaikan dan penurunan daya ketika alat berada pada kondisi aktif maupun tidak aktif. Pengujian dilaksanakan dalam dua tahap, yaitu pengujian beban saat SSR dalam keadaan ON dan pengujian saat SSR dalam keadaan OFF. Parameter yang diukur pada pengujian ini adalah daya aktif, yang merupakan energi kerja nyata yang digunakan beban dalam bentuk panas, cahaya, maupun energi mekanik. Hasil pengujian ini diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian beban saat SSR dinyalakan

| Waktu (Sekon) | Pemanas Air Elektrik | | | | Kipas Angin | | | |
|---------------|----------------------|---------------|-------------|-------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------|
| | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Faktor Daya | Daya Aktif (Watt) | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Faktor Daya | Daya Aktif (Watt) |
| 1 | 221.30 | 0.24 | 0.71 | 37.90 | 225.20 | 0.14 | 0.59 | 18.30 |
| 2 | 219.30 | 2.06 | 1.00 | 450.70 | 224.00 | 0.15 | 0.63 | 21.40 |
| 3 | 220.00 | 2.06 | 1.00 | 453.70 | 224.50 | 0.14 | 0.63 | 19.40 |
| 4 | 220.00 | 2.06 | 1.00 | 453.40 | 224.40 | 0.14 | 0.62 | 18.80 |
| 5 | 219.90 | 2.06 | 1.00 | 453.10 | 224.30 | 0.14 | 0.62 | 18.80 |
| 6 | 219.90 | 2.06 | 1.00 | 453.00 | 224.30 | 0.14 | 0.62 | 18.80 |
| 7 | 220.00 | 2.06 | 1.00 | 453.20 | 224.20 | 0.14 | 0.62 | 18.80 |
| 8 | 220.00 | 2.06 | 1.00 | 453.00 | 224.30 | 0.14 | 0.62 | 18.80 |
| 9 | 220.00 | 2.06 | 1.00 | 453.00 | 224.20 | 0.14 | 0.62 | 18.80 |
| 10 | 220.00 | 2.06 | 1.00 | 453.00 | 224.30 | 0.14 | 0.62 | 18.80 |

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 1, perubahan daya pada kedua jenis beban menunjukkan karakteristik yang berbeda. Pada pemanas air elektrik, daya aktif meningkat secara stabil dari nilai awal hingga mencapai kondisi operasi konstan, sesuai sifatnya sebagai beban resistif. Hal ini ditunjukkan oleh nilai faktor daya ($\cos \phi$) sebesar 1,00, yang menandakan bahwa seluruh daya listrik yang diterima telah dikonversi menjadi daya kerja tanpa komponen reaktif.

Sementara itu, pada kipas angin terlihat adanya fluktuasi daya pada beberapa detik awal sebelum mencapai kondisi stabil. Perilaku ini terjadi karena kipas angin merupakan beban induktif, di mana komponen coil menghasilkan arus awal yang lebih tinggi (*inrush current*) sebelum berkurang setelah putaran motor mencapai keseimbangan. Nilai faktor daya pada kipas angin berkisar di 0,62, yang menunjukkan terdapat sebagian energi yang terserap sebagai daya reaktif dan tidak seluruhnya berubah menjadi daya kerja.

Perbedaan karakteristik tersebut memberikan gambaran bahwa sistem pengendalian kuota daya harus mempertimbangkan jenis beban yang digunakan. Beban resistif cenderung lebih konsisten dan mudah diprediksi, sedangkan beban induktif memerlukan toleransi dan kestabilan kontrol yang lebih baik untuk menghindari pembacaan daya yang fluktuatif.

Pada saat **SSR dinyalakan**, perubahan daya diamati selama rentang waktu 1 hingga 10 detik. Pada **pemanas air**, daya menunjukkan kenaikan cepat pada detik awal kemudian stabil mulai detik ke-2 hingga detik ke-10 dengan nilai daya berkisar **450–453 Watt**. Stabilitas yang tercapai dalam durasi sangat singkat ini menunjukkan bahwa beban resistif tidak mengalami lonjakan arus awal yang signifikan, sehingga daya operasi dapat dicapai dalam kurun waktu kurang dari satu detik. Sementara itu, pada **kipas angin**, respon waktu menunjukkan pola yang berbeda. Pada detik ke-1 daya tercatat sekitar **18,30 Watt**, kemudian mengalami peningkatan pada detik ke-2 dan ke-3 sebelum perlahan turun dan stabil pada nilai **18,8–19,4 Watt** mulai detik ke-4 hingga ke-10. Pola ini menunjukkan adanya *inrush current* pada beban induktif yang memerlukan beberapa detik untuk mencapai keseimbangan putaran motor. Dengan demikian, kestabilan daya pada pemanas air tercapai jauh lebih cepat dibanding kipas angin, sedangkan kipas memerlukan waktu *steady-state* sekitar 3–4 detik.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian beban ketika SSR dalam kondisi OFF. Pada tahap ini dilakukan pengamatan terhadap respon daya setelah suplai listrik diputus oleh sistem. Berdasarkan data pengujian, baik pemanas air maupun kipas angin mengalami penurunan daya secara langsung menuju nilai 0 Watt sesaat setelah SSR dimatikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa SSR mampu memutus arus secara cepat (*instantaneous switching*) tanpa adanya jeda pembiasaan atau arus sisa pada beban.

Tabel 2. Hasil pengujian beban saat SSR dimatikan

| Waktu (Sekon) | Pemanas Air Elektrik | | | | Kipas Angin | | | |
|---------------|----------------------|---------------|-------------|-------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------|
| | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Faktor Daya | Daya Aktif (Watt) | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | Faktor Daya | Daya Aktif (Watt) |
| 1 | 223.50 | 1.34 | 1.00 | 307.70 | 226.50 | 0.02 | 0.55 | 2.60 |
| 2 | 225.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 225.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 225.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 225.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 225.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 225.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 8 | 225.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 226.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 225.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 226.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Pada pemanas air, daya awal tercatat sebesar 307,70 Watt, kemudian langsung turun menjadi 0 Watt pada detik berikutnya. Sementara pada kipas angin, daya awal lebih kecil yakni 2,60 Watt, namun sama-sama turun secara penuh hingga 0 Watt setelah SSR OFF. Hal ini menegaskan bahwa meskipun kedua beban memiliki karakteristik listrik berbeda — pemanas sebagai beban resistif dan kipas sebagai beban induktif — SSR mampu menghentikan aliran daya pada keduanya tanpa terjadi delay pemutusan maupun listrik tersisa (residual power).

Saat **SSR dimatikan**, perubahan daya dipantau dalam rentang waktu yang sama. Pada detik ke-1 pemanas air masih tercatat mengalirkan daya sebesar **307,70 Watt**, namun pada detik ke-2 seluruh daya langsung turun ke **0 Watt** dan tetap berada di posisi tersebut hingga detik ke-10. Ini membuktikan bahwa pemutusan arus oleh SSR terjadi **kurang dari 1 detik** setelah pemutusan logika perintah, tanpa adanya pelepasan energi bertahap. Kondisi serupa terjadi pada kipas angin. Pada detik ke-1 daya masih terbaca sekitar **2,60 Watt**, tetapi pada detik berikutnya daya langsung jatuh ke **0 Watt** dan tidak mengalami perubahan hingga akhir observasi. Respon pemutusan yang cepat pada kedua beban mengindikasikan bahwa tidak terdapat *delay time* maupun efek sisa energi (residual current), sehingga pemutusan oleh SSR berlangsung instan, konsisten, dan presisi waktu.

Hasil Pengujian Kuota Daya

Pengujian kuota daya dilakukan melalui tiga kondisi berbeda, yaitu: (1) ketika kuota daya berada pada nilai **≥ 10 kWh**, (2) saat kuota daya turun di bawah **10 kWh**, dan (3) saat kuota daya mencapai **0 kWh**. Ketiga kondisi ini digunakan untuk menilai respon sistem dalam keadaan normal, peringatan, dan pemutusan beban. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kuota daya

| Kuota Daya (kWh) | Keadaan SSR | Keadaan Buzzer |
|------------------|-------------|----------------|
| 11 | Hidup | Mati |
| 10 | Hidup | Mati |
| 9.99 | Hidup | Hidup |
| 5 | Hidup | Hidup |
| 0.01 | Hidup | Hidup |
| 0 | Mati | Mati |

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa sistem mampu merespons perubahan kuota daya sesuai logika kontrol yang telah diprogramkan. Pada kondisi kuota ≥ 10 kWh, SSR berada dalam keadaan aktif sehingga aliran listrik tetap menyala dan buzzer tidak memberikan peringatan. Ketika kuota daya turun di bawah 10 kWh, SSR masih berfungsi normal, namun sistem mengaktifkan buzzer sebagai tanda bahwa sisa kuota mendekati batas minimal. Hal ini memberikan waktu bagi pengguna untuk melakukan

pengisian ulang sebelum pemutusan daya terjadi. Pada kondisi kuota mencapai 0 kWh, sistem secara otomatis menonaktifkan SSR sehingga pasokan listrik terputus sepenuhnya, dan buzzer juga berhenti berbunyi. Respon ini menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi pembatasan kuota secara efektif serta memastikan bahwa penggunaan daya tidak melebihi batas yang ditentukan. Dengan demikian, sistem pembatas kuota daya telah bekerja sesuai rancangan, memberikan peringatan saat batas minimum tercapai, serta memutus pasokan listrik secara otomatis ketika kuota habis.

Hasil Pengujian UPS

Tabel 4 memperlihatkan perbandingan kinerja sistem ketika UPS diaktifkan dan saat sistem bekerja tanpa UPS. Pada kondisi UPS aktif, perangkat tetap menyala meskipun sumber listrik utama terputus. Ketika listrik kembali tersambung, alat langsung beroperasi sebagaimana mestinya tanpa membutuhkan waktu pemulihan. Hal ini menunjukkan bahwa suplai daya cadangan mampu menjaga NodeMCU tetap hidup dan mempertahankan koneksi sistem agar tidak mengalami restart. Sebaliknya, pada pengujian tanpa UPS, ketika sumber listrik padam perangkat ikut mati dan membutuhkan waktu sekitar 5 detik untuk kembali aktif setelah daya tersambung kembali. Delay tersebut terjadi karena mikrokontroler harus melakukan booting ulang serta proses koneksi kembali ke jaringan WiFi dan server Blynk. Dapat disimpulkan bahwa UPS memberikan kontribusi signifikan dalam menjaga kontinuitas operasi alat, menghilangkan waktu jeda, dan memastikan sistem tetap responsif saat terjadi pemutusan listrik mendadak.

Tabel 4. Hasil pengujian UPS

| Waktu (Sekon) | UPS Hidup | | UPS Mati | |
|---------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| | Sumber Listrik | Keluaran Listrik | Sumber Listrik | Keluaran Listrik |
| 0 | Mati | Mati | Mati | Mati |
| 1 | Hidup | Hidup | Hidup | Mati |
| 2 | Hidup | Hidup | Hidup | Mati |
| 3 | Hidup | Hidup | Hidup | Mati |
| 4 | Hidup | Hidup | Hidup | Mati |
| 5 | Hidup | Hidup | Hidup | Mati |
| 6 | Hidup | Hidup | Hidup | Hidup |
| 7 | Hidup | Hidup | Hidup | Hidup |
| 8 | Hidup | Hidup | Hidup | Hidup |
| 9 | Hidup | Hidup | Hidup | Hidup |
| 10 | Hidup | Hidup | Hidup | Hidup |

Hasil Pengujian Kuota EEPROM

Tabel 5 menunjukkan kemampuan EEPROM dalam menyimpan data kuota daya secara permanen meskipun perangkat kehilangan suplai listrik. Nilai kuota daya tersimpan dalam format floating point yang memerlukan 4 byte ruang memori EEPROM. Pada setiap percobaan, nilai kuota yang disimpan kembali muncul dengan benar setelah perangkat dimatikan dan dinyalakan kembali, membuktikan bahwa mekanisme penyimpanan berjalan dengan stabil dan tidak terjadi penghapusan otomatis (data reset). Keunggulan ini menjadikan pengguna tidak perlu memasukkan ulang kuota daya ketika terjadi pemadaman atau restart sistem. Fitur tersebut menjadi pembeda kuat dibanding penelitian sebelumnya (Jatmiko et al., 2022), yang belum menerapkan penyimpanan kuota berkelanjutan. Selain itu, EEPROM pada NodeMCU memiliki kapasitas hingga 100.000 kali operasi tulis ulang, sehingga cukup andal untuk penggunaan jangka panjang. Dengan demikian, fitur EEPROM terbukti mampu menjaga kontinuitas data kuota daya dan meningkatkan efisiensi sistem tanpa membutuhkan input ulang setelah pemutusan daya.

Tabel 5. Hasil pengujian EEPROM

| Kuota Daya (kWh) | EEPROM | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Alamat 90 | Alamat 91 | Alamat 92 | Alamat 93 | Alamat 94 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.00 | 0 | 0 | 128 | 63 | 0 |
| 9.99 | 10 | 215 | 31 | 65 | 0 |

| | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|----|---|
| 10.55 | 205 | 204 | 40 | 65 | 0 |
| 99.99 | 225 | 250 | 199 | 66 | 0 |
| 100 | 0 | 0 | 200 | 66 | 0 |

Tampilan pada Blynk

Aplikasi **Blynk** digunakan sebagai antarmuka monitoring dan pengendalian sistem melalui smartphone. Pada halaman utama ditampilkan informasi real-time berupa tegangan, arus, daya aktif, energi terpakai, serta sisa kuota yang tersedia, dilengkapi tombol untuk menghidupkan/mematikan SSR dan buzzer. Fitur pengaturan kuota juga disediakan untuk melakukan *top-up* atau reset kuota, sementara alarm otomatis aktif ketika batas minimum tercapai. Setiap perubahan nilai pada aplikasi langsung terhubung dengan NodeMCU melalui cloud sehingga perangkat dapat dikontrol jarak jauh secara cepat dan responsif.



Gambar 5. Tampilan aplikasi Blynk sebagai antarmuka kontrol sistem

- (a) Tampilan utama menampilkan data realtime berupa tegangan, arus, daya aktif, energi terpakai, dan sisa kuota daya, (b) Tampilan pengaturan alarm sebagai peringatan ketika sisa kuota berada di bawah batas minimum, (c) Tampilan daya terpakai dan tegangan (d) Menu pengaturan kuota untuk melakukan penambahan (*top-up*), reset, dan pembaruan kuota daya yang disimpan ke EEPROM.

Gambar 5 menunjukkan tampilan antarmuka Blynk yang digunakan untuk monitoring dan pengendalian kuota daya listrik. Halaman utama menampilkan parameter real-time seperti tegangan, arus, daya aktif, serta sisa kuota, sedangkan menu kontrol menyediakan tombol ON/OFF SSR dan pengaturan buzzer. Pengguna juga dapat melakukan pengisian ulang kuota melalui menu konfigurasi dan sistem akan menyimpan nilai terbaru ke EEPROM sehingga tetap tersimpan meskipun perangkat kehilangan catu daya.

Kesimpulan

Berdasarkan proses perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring dan pengendalian kuota daya listrik berbasis IoT berhasil direalisasikan dan bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang. Perangkat mampu memantau tegangan, arus, daya aktif, serta energi listrik secara real-time, sekaligus mengendalikan suplai listrik berdasarkan batas kuota yang ditentukan pengguna. Mekanisme pembatasan kuota berjalan efektif, ditandai dengan respon sistem yang menyalakan buzzer saat sisa kuota <10 kWh dan memutuskan aliran listrik secara otomatis saat kuota 0 kWh, sehingga pemakaian energi dapat dikontrol dengan baik.

Pengujian terhadap beban menunjukkan bahwa pemanas air sebagai beban resistif mencapai kestabilan daya dalam waktu sangat singkat, sedangkan kipas angin sebagai beban induktif memerlukan beberapa detik sebelum mencapai kondisi stabil. Respon ini mengonfirmasi bahwa sistem mampu menangani karakteristik beban yang berbeda. UPS memberikan kontribusi penting dalam mempertahankan operasi alat selama pemadaman listrik, sehingga tidak terjadi restart maupun kehilangan koneksi jaringan. Selain itu, penggunaan EEPROM memastikan bahwa data kuota tersimpan secara permanen dan tidak hilang saat suplai listrik terputus.

Secara keseluruhan, sistem ini tidak hanya dapat melakukan monitoring konsumsi daya listrik, tetapi juga mengatur serta membatasi penggunaannya melalui kontrol kuota berbasis IoT. Dengan demikian, perangkat ini berpotensi diterapkan pada rumah tinggal, kos, fasilitas umum, maupun instalasi multi-beban untuk mengoptimalkan konsumsi daya dan mencegah pemborosan energi listrik.

Daftar Pustaka

- Abadi, A., Widya, R., & Julsam, J. (2021). RANCANG BANGUN PEMUTUS TEGANGAN PADA KWH METER PELANGGAN PLN. *Jurnal Andalas: Rekayasa Dan Penerapan Teknologi*, 1(1 SE-Articles), 37–46. <https://doi.org/10.25077/jarpet.v1i1.2>
- Abduraimov, E., & Khalmanov, D. (2020). Development of contactless solid state voltage relay. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601106>
- Amalia, S., Andari, R., & Nofrizal, Y. (2021). Sistem Monitoring Penggunaan Beban Pada Proses Pengosongan Baterai 100WP Menggunakan Sensor PZEM-004T. *Jurnal Amplifier*, 11(1), 29–36.
- Amri, F., Fitriyanto, I., Haryanti, T., Fatwasauri, I., & Maknunah, J. (2023). PERANCANGAN INSTRUMEN ALAT UKUR WATTMETER DIGITAL BERBASIS ARDUINO NANO DAN SENSOR PZEM-004T. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 9(1).
- Gul, M. S., & Patidar, S. (2015). Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building. *Energy & Buildings*, 87, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.027>
- Kitzmilller, C., Yost, K., & Perdikakis, W. (2023). An AC Solid-State Relay Unit for Electric Machine Step-Load Testing. *AIAA AVIATION 2023 Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2023-4544>
- Mohi, S. R. A.-R. H., Algiffari, M. F., & Pahrun, A. A. (2025). PERANCANGAN RUMAH TINGGAL MENGGUNAKAN KONSEP HEMAT ENERGI. *International Journal Of Building Architecture*, 1(2), 44–46.
- Natalia, D., Yoesgiantoro, D., & Yusgiantoro, F. C. (2022). ANALISIS KEBIJAKAN DOMESTIC MARKET OBLIGATION (DMO) BATU BARA INDONESIA UNTUK KETAHANAN ENERGI DAN MENDUKUNG PERTAHANAN. *Jurnal Kewarganegaraan*, 6(1), 1823–1835.
- Rao, C. K., Sahoo, S. K., & Yanine, F. F. (2025). Implementation of real-time optimal load scheduling for IoT-based intelligent smart energy management system using new decisive algorithm. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 12(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s43067-025-00198-w>
- Rohmah, R. N., Alwi, F. N., & Jatmiko, J. (2022). Alat Monitoring dan Pengendalian Konsumsi Listrik Rumah Tangga untuk Pengembangan Rumah Pintar Berbasis IoT. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(1), 34–38. <https://doi.org/10.23917/emitor.v22i1.15159>
- Rufiatun, Y., Gravitaniani, E., & Raharjo, M. (2023). *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding Analysis of New Renewable Energy (EBT) Electricity on Green Economy in Indonesia and Influence Factors*. 16–24.
- Saputra, V. B., Kumolo, C., Fahmi, N., & Wibowo, F. (2016). Analisis Luas Penampang dan Pengaruh Jarak Terhadap Transmisi Daya pada Wireless Charger Universal Smartphone. *Khazanah Informatika : Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika*, 11(1), 35–41.
- Supardi, A., Setiyoko, I., & Saifurrohman, M. (2022). Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller. *EMITOR : Jurnal Teknik Elektro*, 22(01), 65–72.