

Rancang Bangun Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Pada PLTS Berbasis IoT

Renta Risnauli N^{1*}, Toibah Umi Kalsum², Yessi Mardiana³

^{1,2,3}Fakultas Ilmu Komputer, Rekayasa Sistem Komputer, Universitas Dehasen, Bengkulu, Indonesia

E-mail: ¹*rentanapitupulu11@gmail.com, ²cicik.umie@gmail.com, ³yessimardiana@unived.ac.id

(* : corresponding author)

Abstrak

Perkembangan teknologi dan intensitas aktivitas masyarakat telah mendorong peningkatan permintaan terhadap energi listrik, sehingga menuntut eksplorasi sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Salah satu solusi yang relevan yaitu pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengembangan sebuah sistem pemantauan konsumsi energi untuk PLTS dengan mengadopsi konsep *Internet of Things* (IoT). Pengembangan sistem yang mengintegrasikan sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter tegangan AC, arus, daya, energi, sensor ACS712 untuk akurasi pengukuran arus, serta sensor tegangan khusus untuk memantau kondisi baterai DC. Seluruh proses pengendalian dan akuisisi data dikelola oleh modul NodeMCU ESP32 sebagai unit pemroses utama. Data yang diperoleh kemudian ditampilkan secara real-time melalui antarmuka aplikasi Blynk. Metode penelitian yang diterapkan bersifat eksperimental, mencakup tahapan perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, serta integrasi keseluruhan sistem IoT. Hasil evaluasi menunjukkan sistem beroperasi dengan baik, mampu memberikan pembacaan parameter kelistrikan yang akurat, menampilkan data dengan latensi sangat rendah (sekitar 0,1 detik), dan mendukung operasi pengendalian ON/OFF beban listrik dari jarak jauh secara efektif. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan pemanfaatan energi surya, khususnya pada tingkat skala kecil.

Kata kunci: Blynk, Internet of Things, Pemantauan Energi, PLTS

Abstract

Technological developments and the intensity of community activities have driven an increase in demand for electrical energy, thereby necessitating the exploration of sustainable alternative energy sources. One relevant solution is the utilization of Solar Power Plants (SPPs). This research focuses on the design and development of an energy consumption monitoring system for PLTS by adopting the Internet of Things (IoT) concept. The system development integrates PZEM-004T sensors to measure AC voltage, current, power, and energy parameters, ACS712 sensors for accurate current measurement, and special voltage sensors to monitor DC battery conditions. The entire control and data acquisition process is managed by the NodeMCU ESP32 module as the main processing unit. The data obtained is then displayed in real-time through the Blynk application interface. The research method applied is experimental, covering the stages of hardware design, software development, and overall IoT system integration. The evaluation results show that the system operates well, is capable of providing accurate electrical parameter readings, displays data with very low latency (around 0.1 seconds), and effectively supports remote ON/OFF control of electrical loads. Thus, this system is expected to contribute to improving the efficiency, reliability, and sustainability of solar energy utilization, especially on a small scale.

Keywords: Blynk, Internet of Things, Monitoring Energi, PLTS

1. PENDAHULUAN

Permintaan energi listrik global terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan industrialisasi, sementara ketergantungan pada sumber energi fosil masih mendominasi pasokan energi listrik dunia, menimbulkan dampak lingkungan dan kestabilan harga [1]. Transisi menuju energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi berkelanjutan, terutama di negara tropis seperti Indonesia yang memiliki potensi radiasi matahari tinggi [2], [3].

Pada sistem PLTS skala kecil atau off-grid, pemantauan yang efektif sering kali terbatas sehingga menyulitkan deteksi dini penurunan kinerja atau kerusakan komponen [4], [5]. Sistem pemantauan yang ideal seharusnya mampu mengukur parameter kunci seperti tegangan (AC/DC), arus, daya, energi yang dihasilkan dan dikonsumsi, serta kondisi baterai. Dengan data tersebut,

pengguna dapat mengoptimalkan penggunaan energi, mendeteksi anomali, dan melakukan perawatan preventif. Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi melalui akuisisi data real-time, komunikasi nirkabel, dan kontrol jarak jauh, yang meningkatkan visibilitas dan efisiensi sistem energi [6], [7].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem IoT untuk PLTS, namun masih memiliki keterbatasan dari segi integrasi dan kemudahan penggunaan. Penelitian yang dilakukan Dano memantau parameter dasar tanpa kontrol beban terintegrasi [8]. Dan Arief menggunakan Node-RED yang kompleks [9]. Nuryanto mengembangkan kontrol hibrida dengan antarmuka kurang intuitif [10]. Sementara Blynk telah terbukti responsif untuk aplikasi IoT [11], [12], dan solar tracker dapat meningkatkan efisiensi panel [13], [14]; namun belum ada sistem terpadu yang menggabungkan monitoring multi-parameter (tegangan, arus, daya, energi, baterai), kontrol beban jarak jauh, optimasi panel otomatis, dan antarmuka mobile yang sederhana untuk PLTS skala kecil.

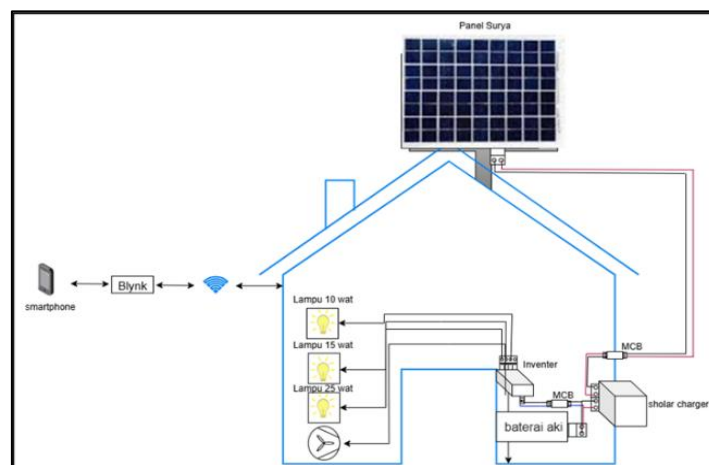
Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring holistik yang mengintegrasikan sensor PZEM-004T dan ACS712 untuk pengukuran parameter kelistrikan, NodeMCU ESP32 sebagai pengendali, single-axis solar tracker berbasis LDR, serta antarmuka Blynk untuk visualisasi dan kontrol real-time. Kontribusi utama penelitian adalah solusi terpadu yang menyediakan pemantauan parameter lengkap, kontrol beban jarak jauh, optimasi energi, dan kemudahan penggunaan dalam satu platform, guna meningkatkan efisiensi energi listrik dan keandalan operasional PLTS skala kecil.

2. METODE PENELITIAN

Kerangka metodologi yang diterapkan dalam Studi ini menggunakan metode eksperimental dengan tahapan perancangan, pembangunan, pengujian, dan evaluasi prototipe. Fokus utama adalah menganalisis performa sistem yang dikembangkan. Tujuan eksperimen adalah mengamati pengaruh variabel independen (perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi terkendali. Pengendalian ini penting untuk mencegah variabel lain mempengaruhi hasil. Untuk itu, digunakan kelompok kontrol sebagai pembanding dalam eksperimen.

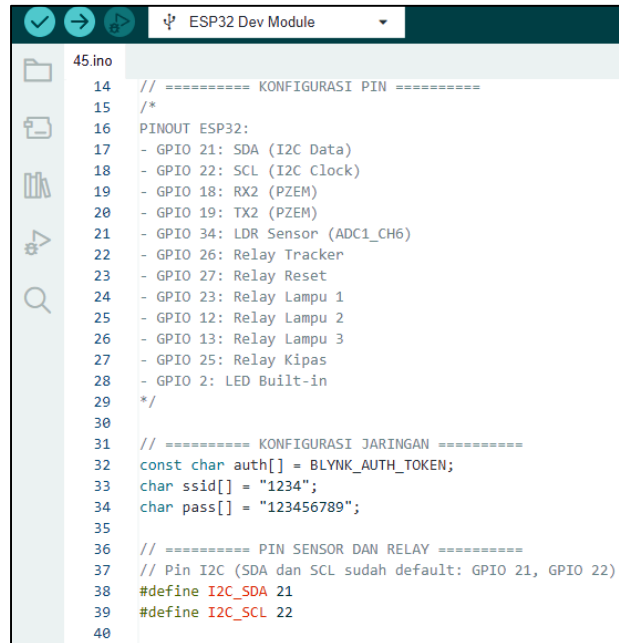
2.1. Metode Perancangan Sistem

a. Diagram Keseluruhan Perangkat



Gambar 1. Diagram Keseluruhan Perangkat

Ilustrasi pada Gambar 1 tersebut menunjukkan sistem pencahayaan berbasis energi surya yang terhubung dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan dapat dikendalikan melalui aplikasi Blynk menggunakan smartphone atau laptop. Energi listrik dihasilkan oleh panel surya dan disimpan dalam baterai untuk digunakan saat malam hari. Sistem ini terdiri dari tiga lampu berdaya 10 W, 15 W, dan 25 W yang dapat dioperasikan secara terpisah. Melalui koneksi Wi-Fi

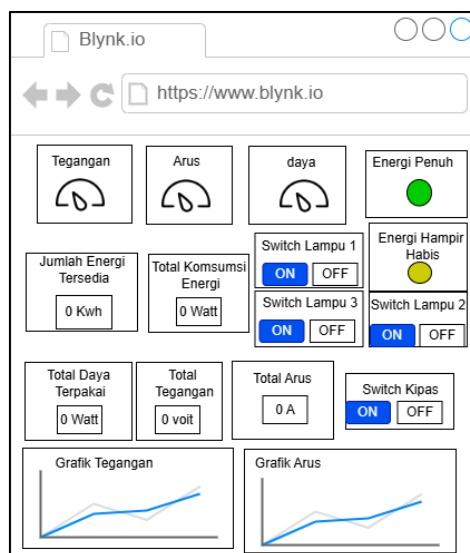


```
45.ino
14 // ===== KONFIGURASI PIN =====
15 /*
16 PINOUT ESP32:
17 - GPIO 21: SDA (I2C Data)
18 - GPIO 22: SCL (I2C Clock)
19 - GPIO 18: RX2 (PZEM)
20 - GPIO 19: TX2 (PZEM)
21 - GPIO 34: LDR Sensor (ADC1_CH6)
22 - GPIO 26: Relay Tracker
23 - GPIO 27: Relay Reset
24 - GPIO 23: Relay Lampu 1
25 - GPIO 12: Relay Lampu 2
26 - GPIO 13: Relay Lampu 3
27 - GPIO 25: Relay Kipas
28 - GPIO 2: LED Built-in
29 */
30
31 // ===== KONFIGURASI JARINGAN =====
32 const char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
33 char ssid[] = "1234";
34 char pass[] = "123456789";
35
36 // ===== PIN SENSOR DAN RELAY =====
37 // Pin I2C (SDA dan SCL sudah default: GPIO 21, GPIO 22)
38 #define I2C_SDA 21
39 #define I2C_SCL 22
40
```

Gambar 4. Perancangan Perangkat

Program utama yang dikembangkan pada Arduino IDE untuk NodeMCU ESP32 meliputi konfigurasi pin (termasuk I2C pada GPIO 21 dan 22) untuk sensor, relay, dan LED, serta pengaturan koneksi Wi-Fi dengan autentikasi Blynk. Setelah terhubung, ESP32 menginisialisasi sensor PZEM-004T, ACS712, dan sensor tegangan untuk melakukan pengukuran parameter kelistrikan secara periodik dan mengirimkan datanya ke aplikasi Blynk guna pemantauan real-time.

e. Rencana *User Interface Sistem*



Gambar 5. Rancangan *User Interface Sistem*

Pada Gambar 5 yang merupakan antarmuka sistem monitoring energi listrik berbasis IoT menampilkan data tegangan, arus, dan energi secara real-time, dilengkapi grafik untuk memantau perubahan nilai terhadap waktu. Sistem juga menyediakan tombol ON/OFF untuk mengendalikan lampu dan kipas dari jarak jauh melalui internet. Selain itu, ditampilkan informasi total konsumsi energi, daya aktif, serta nilai kumulatif tegangan dan arus. Desain antarmuka ini memudahkan pengguna dalam memantau dan mengontrol sistem secara efisien melalui aplikasi Blynk.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Rangkaian Alat

Tahap ini menyajikan hasil evaluasi pengujian yang didapat dari penelitian terdahulu berjudul Rancang Bangun Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik pada PLTS Berbasis *Internet of Things* (IoT). Pembahasan difokuskan pada penyajian hasil dari berbagai tahapan pengujian terhadap sistem yang telah dikembangkan, meliputi pengujian perangkat keras, perangkat lunak, serta evaluasi kinerja sistem monitoring secara menyeluruh. Seluruh hasil pengujian yang diperoleh dalam penelitian ini disajikan dan dianalisis secara sistematis sebagai berikut (Gambar 6).



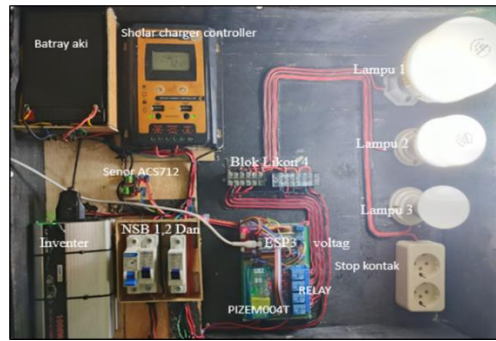
Gambar 6. Hasil Rangkaian Alat

Sistem panel surya otomatis dilengkapi dengan dua sensor LDR (timur dan barat) serta aktuator penggerak untuk melacak pergerakan matahari guna memaksimalkan penyerapan energi. Mikrokontroler mengatur pergerakan panel hingga kedua sensor mencapai keseimbangan, menandakan posisi panel tegak lurus terhadap sinar matahari. Sistem ini juga menyertakan baterai sebagai penyimpan energi dan lampu LED sebagai beban uji, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi dibandingkan panel statis.



Gambar 7. Hasil Rangkaian Alat Panel Surya

Gambar 7 adalah Sistem panel surya otomatis dilengkapi sensor LDR dan aktuator untuk mengoptimalkan penyerapan energi dengan cara melacak pergerakan matahari sepanjang hari, sehingga menghasilkan energi listrik yang lebih maksimal dibandingkan panel statis.



Gambar 8. Hasil Rangkaian Sistem

Sistem PLTS berbasis IoT ini dirancang untuk pemantauan dan kendali jarak jauh melalui aplikasi Blynk (Gambar 8). Konfigurasinya meliputi baterai 12V, solar charge controller, inverter, MCB, sensor ACS712 dan tegangan, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama. Data parameter listrik (tegangan, arus, daya) dikirim secara real-time ke Blynk, sementara modul relay memungkinkan kontrol beban (lampu dan stop kontak) dari jarak jauh, menjadikan sistem ini efisien dan praktis untuk aplikasi energi terintegrasi.

3.2 Koneksi Alat Ke Aplikasi Blynk

Koneksi antara perangkat keras dan aplikasi Blynk berfungsi sebagai penghubung utama dalam sistem Internet of Things (IoT). Melalui authentication token (Auth Token) yang diberikan Blynk, mikrokontroler ESP32 dapat terhubung ke jaringan internet untuk mengirimkan data sensor dan menerima perintah pengguna secara real-time. Mekanisme ini memungkinkan proses pemantauan dan pengendalian perangkat berlangsung efisien dan terintegrasi. Gambar berikut memperlihatkan potongan kode Arduino yang digunakan untuk menghubungkan perangkat ke aplikasi Blynk.

```
kripsi-baru.ino
1  #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6ZL1N1W9z"
2  #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "MONITORING PLTS"
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "zDU2WunVeov2c0FnBrxG5Hyh-IWQggV"
4  #define BLYNK_PRINT Serial
5
6  #include <WiFi.h>
7  #include <WiFiClient.h>
8  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
9  #include <PZEM004Tv30.h>
10
11 // ===== KONFIGURASI =====
12 // Wifi dan Blynk
13 const char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN; // Token auth Blynk
14 char ssid[] = "1234"; // Nama Wifi
15 char pass[] = "123456789"; // Password Wifi
16
17 // Pin PZEM (hanya untuk beban)
18 #define PZEM2_RX_PIN 18
19 #define PZEM2_TX_PIN 19
20
21 // Pin Relay
22 #define RELAY_LAMPU1 23
23 #define RELAY_LAMPU2 22
24 #define RELAY_LAMPU3 21
25 #define RELAY_KIPAS 25
26
```

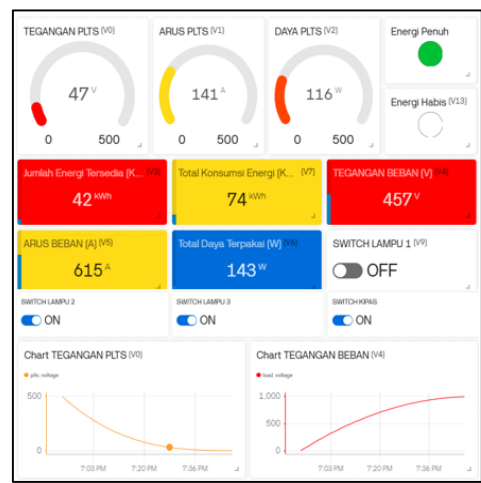
Gambar 9. Potongan Kode Koneksi Blynk

Gambar 9 menampilkan potongan kode program Arduino yang berfungsi menghubungkan perangkat ESP32 dengan aplikasi Blynk, sensor PZEM004Tv30, dan modul relay. Kode ini mencakup pengaturan autentikasi Blynk, penggunaan pustaka pendukung untuk konektivitas jaringan, serta pembacaan data sensor. Pin GPIO 18 dan 19 digunakan untuk komunikasi dengan sensor PZEM004T, sedangkan GPIO 21 hingga 25 berperan dalam pengendalian relay beban. Program ini menjadi dasar bagi sistem monitoring dan pengendalian energi listrik berbasis IoT yang memungkinkan pengguna melakukan pemantauan dan pengendalian beban listrik secara real-time dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk.

3.3 Hasil Rancangan Aplikasi Blynk

Setelah proses pengujian dan analisis data, hasil pengukuran ditampilkan melalui aplikasi

Blynk sebagai antarmuka utama pengguna. Aplikasi ini memungkinkan pemantauan sistem PLTS dan pengendalian beban listrik secara langsung melalui pengiriman informasi sensor yang menangani arus serta tegangan oleh NodeMCU/ESP32, sehingga pengguna dapat memantau parameter kelistrikan serta mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat dari jarak jauh. Integrasi tersebut menjadikan sistem monitoring lebih praktis dan efisien sesuai dengan konsep Internet of Things (IoT).



Gambar 10. Hasil Rancangan Aplikasi Blynk

Antarmuka Blynk pada gambar di atas menampilkan parameter utama sistem PLTS secara real-time, termasuk tegangan (520 V), arus (927 A), daya (497 W), energi total (19 kWh), dan status baterai dengan indikator warna. Fitur kontrol berupa tombol switch memungkinkan pengoperasian jarak jauh untuk lampu dan kipas, sementara grafik real-time membantu memantau stabilitas tegangan sistem

3.4 Pengujian Daya Keluaran

Pengujian daya keluaran panel surya dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem PLTS dalam menghasilkan energi listrik di bawah berbagai kondisi cuaca. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya, serta menganalisis pengaruh variasi intensitas cahaya matahari terhadap performa sistem. Data yang diperoleh digunakan untuk memastikan efisiensi panel dalam mengisi baterai dan menyuplai energi ke beban yang terhubung.

Skenario pengujian dilakukan dengan mengukur daya keluaran panel surya pada tiga kondisi cuaca yang berbeda, yaitu:

- a. Cuaca Cerah/Terik: Pengukuran dilakukan pada pukul 09:00, 12:00, dan 13:00 WIB untuk melihat peningkatan, puncak, dan penurunan intensitas cahaya matahari.
- b. Cuaca Mendung: Pengukuran dilakukan pada waktu yang sama untuk mengamati penurunan daya akibat berkurangnya radiasi matahari.
- c. Cuaca Hujan Panas: Pengukuran dilakukan pada pukul 10:00, 12:00, dan 13:00 WIB untuk mengevaluasi fluktuasi daya akibat kombinasi hujan dan cahaya matahari yang tidak stabil.

Setiap pengukuran dilakukan menggunakan sensor ACS712 untuk arus dan sensor tegangan untuk tegangan, dengan hasil perhitungan daya ditampilkan secara real-time melalui aplikasi Blynk. Data yang terkumpul kemudian dianalisis untuk menentukan hubungan antara kondisi cuaca, intensitas cahaya, dan daya keluaran panel surya. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Daya Keluaran Panel Surya

Waktu Pengukuran	Kondisi Cuaca	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
09:00 WIB	Cerah/Terik	16,5	0,555	9,16	Intensitas matahari mulai meningkat
12:00 WIB	Cerah/Terik	16,5	5,560	97,30	Puncak intensitas matahari, daya maksimum

Waktu Pengukuran	Kondisi Cuaca	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
13:00 WIB	Cerah/Terik	16,5	5,282	92,43	Intensitas mulai menurun
09:00 WIB	Mendung	16,5	0,079	1,30	Cahaya matahari masih lemah, daya rendah
12:00 WIB	Mendung	16,5	2,780	48,65	Intensitas tertinggi meski mendung
13:00 WIB	Mendung	16,5	2,224	38,92	Awan menebal, daya kembali menurun
10:00 WIB	Hujan Panas	16,5	0,185	4,20	Radiasi rendah karena hujan, daya kecil
12:00 WIB	Hujan Panas	16,5	1,223	21,41	Intensitas agak meningkat meski hujan panas
13:00 WIB	Hujan Panas	16,5	1,061	17,51	Tetesan hujan mengurangi penyerapan cahaya

Daya keluaran panel surya sangat dipengaruhi kondisi cuaca, dengan daya tertinggi 97,30 W pada cuaca cerah (siang hari), turun drastis menjadi 1,30–48,65 W saat mendung, dan fluktuatif antara 4,20–21,41 W pada hujan panas. Untuk menjaga kestabilan suplai listrik, PLTS perlu dilengkapi dengan baterai penyimpanan energi.

3.5 Pengujian Daya Tersimpan dalam Baterai

Pengujian daya tersimpan dalam baterai bertujuan untuk mengetahui kemampuan aki 12V 12Ah dalam menyimpan dan menyalurkan energi dari panel surya 100 Wp. Baterai berfungsi sebagai sumber cadangan utama dalam sistem PLTS, sehingga efisiensinya sangat menentukan keandalan sistem. Proses pengisian dilakukan melalui solar charge controller (SCC) yang mengatur arus dan tegangan agar aman serta mencegah overcharge. Tegangan baterai dipantau dari kondisi awal hingga penuh untuk mengetahui kecepatan pengisian dan waktu yang dibutuhkan hingga kapasitas optimal tercapai.

Selain itu, dilakukan uji pelepasan daya (discharge) dengan menghubungkan baterai ke beberapa beban seperti lampu dan kipas angin. Dari sini dapat diketahui berapa lama baterai mampu menyuplai energi pada berbagai tingkat daya beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar daya beban, semakin singkat durasi suplai energi, sedangkan beban kecil dapat bertahan lebih lama. Kesimpulannya, kapasitas riil baterai sangat memengaruhi durasi penggunaan energi cadangan. Pengujian ini memastikan bahwa sistem PLTS mampu bekerja andal dalam kondisi tanpa sinar matahari, seperti malam hari atau cuaca mendung terutama saat tidak ada sinar matahari.

Tabel 2. Hasil Pengujian Daya Tersimpan dalam Baterai

Waktu Pengisian	Tegangan Awal (V)	Tegangan Akhir (V)	Lama Pengisian (Jam)	Jenis Beban	Daya Beban (W)	Lama Nyala Beban (Jam)	Energi Terpakai (Wh)
09:00 – 13:00	11,8	12,6	4 jam	Lampu	15	6 jam	90 Wh
09:00 – 14:00	11,7	12,7	5 jam	Lampu	20	5 jam	100 Wh
09:00 – 15:00	11,6	12,8	6 jam	Lampu	40	3 jam	120 Wh
09:00 – 13:00	11,9	12,6	4 jam	Kipas Angin	20	4 jam	80 Wh
Semua Beban	–	–	–	Total	95 W	2 jam	190 Wh

Perhitungan Energi Beban

a. Energi tiap beban dihitung menggunakan persamaan dasar energi listrik [15], yaitu:

$$E = P \times t$$

Keterangan:

E = Energi (Wh)

P = Daya beban (W)

t = Lama nyala beban (jam)

a) Lampu 15 W

$$E = 15W \times 6 \text{ jam} = 90Wh$$

b) Lampu 20 W

$$E = 20W \times 5 \text{ jam} = 100Wh$$

c) Lampu 40 W

$$E = 40W \times 3 \text{ jam} = 120Wh$$

d) Kipas Angin 20 W

$$E = 20W \times 4 \text{ jam} = 80Wh$$

Total Energi Terpakai (uji beban terpisah)

$$E_{\text{total}} = 90 + 100 + 120 + 80 = 390Wh$$

Baterai 12V 12Ah mampu menyuplai beban 100 W selama 2,5 jam, dengan pengisian penuh dari 11,6–11,9 V menjadi 12,6–12,8 V dalam 4–6 jam pada cuaca cerah. Untuk beban individual, durasi penyuplaian bervariasi: lampu 15 W (6 jam), 20 W (5 jam), 40 W (3 jam), dan kipas 20 W (4 jam). Namun, jika semua beban dinyalakan bersamaan (95 W), baterai hanya bertahan 2 jam. Semakin besar daya beban, semakin singkat durasi suplai. Baterai ini memadai untuk beban ringan-sedang, namun kurang optimal untuk beban besar atau gabungan, sehingga disarankan menambah kapasitas atau menggunakan konfigurasi paralel.

3.6 Pengujian Beban

Pengujian beban dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan responsivitas sistem monitoring dalam mengukur konsumsi energi listrik pada berbagai kondisi beban. Skenario pengujian mencakup delapan konfigurasi beban, mulai dari beban tunggal hingga kombinasi beberapa beban, dengan tujuan untuk menguji kemampuan sistem dalam membaca parameter kelistrikan secara real-time melalui sensor PZEM-004T dan menampilkannya di aplikasi Blynk. Skenario pengujian meliputi:

- Beban tunggal: Lampu 18 W, 20 W, 40 W, dan kipas 20 W.
- Beban gabungan: Kombinasi dua lampu, lampu dengan kipas, tiga beban, dan seluruh beban aktif.
- Pengukuran parameter: Tegangan (V), arus (A), dan daya (W) untuk setiap skenario.
- Perhitungan akurasi berdasarkan perbandingan antara daya terbaca dan daya nominal.

Sistem PLTS berbasis IoT berhasil diuji dengan seluruh komponen berfungsi optimal. Sensor PZEM-004T dan ESP32 membaca serta mengirimkan data parameter listrik secara akurat ke aplikasi Blynk secara real-time. Perbedaan kecil antara daya terukur dan nominal disebabkan faktor daya lampu LED. Sistem juga mampu mengontrol beban secara jarak jauh melalui switch di Blynk, baik untuk beban tunggal maupun gabungan. Hasilnya menunjukkan sistem bekerja stabil, akurat, dan mendukung pemantauan serta kendali energi berbasis IoT

Tabel 3. Hasil Pengujian Beban

No	Jenis Beban	Daya Nominal (Watt)	Tegangan Terbaca (Volt)	Arus Terbaca (Ampere)	Daya Terbaca (Watt)	Akurasi Pengukuran (%)	Keterangan
1	Lampu 18 Watt	18	222,6	0,083	14	77,8%	Sistem bekerja normal, pembacaan stabil
2	Lampu 20 Watt	20	223,4	0,091	17	85,0%	Nilai pembacaan akurat, tegangan stabil
3	Lampu 40 Watt	40	223,8	0,164	32	80,0%	Sistem mendeteksi perubahan beban dengan baik
4	Kipas 20 Watt	20	223,2	0,095	18	90,0%	Sistem mampu membaca beban induktif dengan stabil
5	Dua Lampu Dihidupkan (18W + 40W)	58	223,7	0,223	47	81,0%	Sensor membaca total daya dua beban secara real-time
6	Lampu + Kipas (20W + 20W)	40	223,5	0,180	36	90,0%	Data pembacaan arus dan daya menunjukkan respon cepat

No	Jenis Beban	Daya Nominal (Watt)	Tegangan Terbaca (Volt)	Arus Terbaca (Ampere)	Daya Terbaca (Watt)	Akurasi Pengukuran (%)	Keterangan
7	Tiga Beban (18W + 40W + Kipas 20W)	78	223,4	0,260	58	74,4%	Sistem tetap stabil saat beban bertambah
8	Semua Beban Aktif (18W + 20W + 40W + Kipas 20W)	98	223,3	0,320	71	72,4%	Sistem bekerja optimal, mampu membaca total daya seluruh beban

Pengujian sistem dilakukan melalui delapan skenario beban lampu dan kipas, dengan parameter listrik ditampilkan secara real-time melalui Blynk. Akurasi sistem mencapai 77–90% untuk beban tunggal, dengan lampu LED menunjukkan pembacaan lebih rendah akibat faktor daya kapasitif, sementara kipas mendekati nilai nominal. Pada beban gabungan, akurasi turun menjadi 72–81%. Secara rata-rata, sistem memiliki akurasi 81% yang tergolong baik, membuktikan bahwa integrasi sensor, mikrokontroler, dan antarmuka Blynk bekerja stabil dan akurat dalam memantau konsumsi energi PLTS berbasis IoT.

3.7 Pengujian Aplikasi Blynk

Pengujian respon kendali beban dilakukan untuk mengukur kecepatan dan keandalan sistem dalam mengeksekusi perintah ON/OFF dari aplikasi Blynk. Skenario pengujian dilakukan dengan mengirimkan perintah kendali untuk setiap beban secara individual, yaitu Lampu 1, Lampu 2, Lampu 3, dan Kipas Angin. Waktu respon diukur dari saat tombol ditekan pada aplikasi Blynk hingga beban merespon (nyala atau mati). Pengukuran dilakukan dengan membandingkan waktu respon yang terdeteksi oleh sensor atau alat dengan waktu respon yang ditampilkan di aplikasi Blynk. Selisih waktu (delay) antara keduanya dicatat untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali jarak jauh. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem kendali berjalan dengan delay yang sangat kecil dan dapat diandalkan untuk operasi real-time.

Tabel 4. Hasil Monitoring Data Sensor Melalui Aplikasi Blynk

No	Parameter Uji	Data Sensor/Alat	Data di Aplikasi Blynk	Selisih	Waktu Respon (detik)	Keterangan
1	Tegangan Baterai (V)	11,90	11,899	0,001 V	1,2 detik	Data diterima cepat dan akurat
2	Arus Beban (A)	0,42	0,41	0,01 A	1,3 detik	Perbedaan kecil, respon cepat
3	Daya Beban (W)	12,0	11,9	0,1 W	1,4 detik	Sesuai dengan nilai sensor
4	Tegangan Beban (V)	222,5	222,4	0,1 V	1,5 detik	Data stabil, delay sangat kecil

Berdasarkan Tabel 4. hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan data sensor yang dikirim ke aplikasi Blynk berjalan sangat baik. Nilai tegangan baterai, arus, daya, dan tegangan beban terbaca dengan akurasi tinggi, dengan selisih hanya sekitar 0,001–0,1 satuan dibandingkan data asli dari sensor. Waktu respon aplikasi dalam menerima dan menampilkan data dari NodeMCU juga tergolong cepat, yaitu sekitar 1,2–1,5 detik. Hasil ini membuktikan bahwa aplikasi Blynk mampu menampilkan data secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi dan delay yang sangat rendah, sehingga efektif digunakan sebagai media monitoring sistem PLTS berbasis IoT.

Pengujian respon kendali beban dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan dan keandalan sistem dalam mengeksekusi perintah ON/OFF yang dikirim melalui aplikasi Blynk. Skenario pengujian ini dirancang untuk mengukur delay (waktu tunda) antara perintah yang diberikan oleh pengguna melalui antarmuka aplikasi hingga beban merespon sesuai perintah. Pengujian mencakup empat beban yang berbeda, yaitu tiga lampu (Lampu 1, Lampu 2, Lampu 3) dan satu kipas angin, dengan setiap beban diuji dalam kondisi ON atau OFF.

Prosedur pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Setiap beban dihubungkan ke sistem melalui modul relay yang dikendalikan oleh NodeMCU ESP32.
- b. Perintah ON atau OFF dikirimkan melalui aplikasi Blynk yang terhubung ke jaringan internet yang sama dengan perangkat.
- c. Waktu respons diukur menggunakan timestamp yang dicatat secara simultan pada saat perintah dikirim dan saat perubahan status beban terdeteksi oleh sensor atau alat ukur.
- d. Selisih waktu antara respons yang terekam oleh sensor/alat dengan respons yang ditampilkan pada aplikasi Blynk dihitung sebagai delay.
- e. Pengujian diulang sebanyak tiga kali untuk setiap beban guna memastikan konsistensi hasil.

Tujuan pengujian ini adalah untuk:

- a. Memastikan bahwa sistem kendali jarak jauh berfungsi dengan delay yang minimal.
- b. Mengevaluasi keandalan koneksi antara NodeMCU ESP32, server Blynk, dan aplikasi pengguna.
- c. Memberikan gambaran tentang responsivitas sistem dalam skenario penggunaan nyata.
- d. Hasil pengujian ini diharapkan dapat menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan kendali beban secara real-time dengan delay yang sangat kecil, sehingga mendukung operasi monitoring dan control yang efektif pada PLTS berbasis IoT.

Tabel 5. Hasil Respon Kendali Beban Melalui Aplikasi Blynk

No	Beban yang Diuji	Kondisi Uji	Respon Sensor/ Alat	Respon di Aplikasi Blynk	Selisih (Delay)	Keterangan
1	Lampu 1	ON	1,1 detik	1,2 detik	0,1 detik	Respon cepat, delay sangat kecil
2	Lampu 2	ON	1,2 detik	1,3 detik	0,1 detik	Respon cepat, delay sangat kecil
3	Lampu 3	OFF	1,0 detik	1,1 detik	0,1 detik	Respon cepat, delay sangat kecil
4	Kipas Angin	ON	1,3 detik	1,4 detik	0,1 detik	Respon cepat, delay sangat kecil

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring konsumsi energi listrik pada PLTS berbasis Internet of Things (IoT), dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berfungsi dengan baik dan menunjukkan kinerja yang optimal. Panel surya menunjukkan kinerja terbaik pada kondisi cuaca terik dengan daya maksimum 97,3 W, sementara performa menurun signifikan pada kondisi mendung dan hujan panas. Kapasitas baterai mampu menyuplai beban ringan selama 4–6 jam, sedangkan beban besar hanya bertahan 2–3 jam, dengan waktu pengisian yang bervariasi sesuai intensitas cahaya matahari. Aplikasi Blynk bekerja efektif dalam menampilkan data parameter kelistrikan secara real-time dengan delay sangat rendah dan mendukung kendali beban jarak jauh, sehingga sistem ini dinilai efisien, responsif, dan layak diterapkan pada pemantauan energi berbasis IoT.

Beberapa saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian selanjutnya adalah disarankan agar sistem ditingkatkan dengan penambahan sensor intensitas cahaya dan suhu panel guna memperoleh analisis performa PLTS yang lebih komprehensif. Kapasitas baterai perlu diperbesar agar mampu menyuplai beban lebih lama pada kondisi cuaca kurang mendukung. Selain itu, aplikasi Blynk sebaiknya dikembangkan dengan fitur pencatatan data historis untuk mendukung analisis konsumsi energi jangka panjang. Pengujian terhadap berbagai jenis beban rumah tangga juga perlu dilakukan guna menilai kinerja sistem dalam kondisi penggunaan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. R. R. P. Putra and J. Joko, "Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS Off Grid Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP 32 dan Telegram," *Jurnal Teknik Elektro*, vol.13, no. 3, pp. 248-255, 2024, doi: 10.26740/jte.v13n3.p248-255.
- [2] M. T. Muslihi, "Pengembangan dan Evaluasi Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT dengan Sensor PZEM-004T dan ESP8266," *Jurnal Fasikom*, vol. 15, no. 1, pp. 77–83, 2025, doi: 10.37859/jf.v15i1.8508.
- [3] Y. Badruzzaman, *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Solar Panel Rooftop dengan Pendingin Menggunakan Mikrokontroler Berbasis IoT," *ORBITH: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, vol. 20, no. 3, pp. 266–271, 2024, doi: 10.32497/orbith.v20i3.6259.
- [4] Z. A. Almunawar, and T. Muchtar, "Design and Development of an Energy Monitoring System for Solar Power Plants and Inverter Output as an Energy Source in Smart Homes," *JEAT: Journal of Electrical and Automation Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 92-100, 2025, doi: 10.61844/jeat.v4i1.1159.
- [5] R. Sirait, M. Pardede, E. Hutajulu, and S. C. Y. Pardede, "Implementation of PZEM-004T and LoRa for Internet of Things–Based Monitoring of Power Supply Sources in Laboratory Building," *Jurnal Mandiri IT*, vol. 14, no. 2, pp. 223–235, 2025, doi: 10.35335/mandiri.v14i2.457.
- [6] T. H. Rangkuti, "Design of IoT Based Electrical Parameter Monitoring System using NodemCu V3 and PZEM-004T V3 Sensor," *Tsabit Journal of Computer Science*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2025, 10.56211/tsabit42.
- [7] L. O. Sari, M. F. E. Saputra, and E. Safrianti, "Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau," *MALCOML: Indonesian of Journal Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 1, pp. 205–211, 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i1.1033.
- [8] T. D. Lorobezy, and K. Krismadinata, "Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS OFF-Grid Berbasis IoT," *MSI Transaction on Education*, vol. 4, no. 2, pp. 71–84, 2023, doi: 10.46574/mted.v4i2.111.
- [9] M. B. Arief, M. Widyartono, W. Aribowo, and A. L. Wardani, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid dan Monitoring Berbasis Node-Red," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 45–50, 2024, doi: 10.33795/elposys.v11i1.4906.
- [10] L. E. Nuryanto, "Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLN dan PLTS) Kapasitas 800 Wp," *ORBITH: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, vol. 17, no. 3, pp. 196–205, 2021, doi: 10.32497/orbith.v17i3.3443.
- [11] B. D. Waluyo, *et al.*, "Sistem Monitoring PLTS Berbasis IoT Sebagai Media Pembelajaran," *Jurnal Teknologi Informasi & Komunikasi dalam Pendidikan*, vol. 11, no. 1, pp. 21–26, 2024, doi: 10.24114/jtikp.v11i1.60282.
- [12] H. A. Wahid, J. Maulindar, and A. I. Pradana, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Aglonema Berbasis IoT Menggunakan Blynk dan NodeMCU 32," *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 3, no. 1, pp. 12–20, 2023, doi: <https://doi.org/10.31004/innovative.v3i2>.
- [13] S. L. Nalbalwar, *et al.*, "IoT-Based Smart Energy Meter with Real-Time Monitoring and Theft Detection using Arduino and PZEM004T," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 14, no. 12,, pp. 1–8, 2025, doi: 10.5281/zenodo.18073175.
- [14] Z. Syahtuta and M. Haryanti, "Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Berbasis Iot (Internet Of Thing)," *Jurnal Teknologi Industri*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.35968/jti.v12i2.1118.
- [15] E. E. P. Sonya Widyawati Putri, Gaguk Marausna, "Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran," vol. 8, no. 1, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.587