

Perancangan Sistem PLTS Off-Grid Dengan Sistem ATS Berbasis Internet of Things (IoT)

¹M. Mursyid Abdillah, ²Arief Budi Laksono, ³Rifky Aisyatul faroh

^{1,2,3} Teknik Elektro, Universitas Islam Lamongan

¹mursyidabdillah953@gmail.com, ²ariefb1@unisla.ac.id, ³rifkyaisyatulfaroh@unisla.ac.id

Article Info

Article history:

Received 01 September 2025
Revised 11 September 2025
Accepted 24 Februari 2026

Keyword:

Solar Power Generation (PLTS)
Automatic Transfer Switch (ATS)
Internet of Things (IoT)
Renewable Energy
Household
Energy Efficiency

ABSTRACT

Off-grid solar power generation (PLTS) systems offer a sustainable solution to meet household energy needs, especially in remote areas. This study designs an off-grid PLTS system with an Automatic Transfer Switch (ATS) feature that allows automatic switching between solar power sources and conventional grid backup. This system is integrated with Internet of Things (IoT) technology for remote monitoring and control via smart devices. The design involves simulation of solar energy capacity, household needs, and optimal resource switching algorithms. The results show that the integration of ATS with IoT improves system efficiency, ensures a stable energy supply, and allows users to optimize energy consumption and reduce operational costs. This design supports the transition to renewable energy use, providing innovative solutions for intelligent and sustainable household energy resource management.

Copyright © 2026 Jurnal JEETech.
All rights reserved.

Corresponding Author:

M. Mursyid Abdillah,
Email: mursyidabdillah953@gmail.com

Abstrak— Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid menawarkan solusi berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga, terutama di daerah terpencil. Penelitian ini merancang sistem PLTS off-grid dengan fitur Automatic Transfer Switch (ATS) yang memungkinkan pergantian otomatis antara sumber daya surya dan cadangan jaringan listrik konvensional. Sistem ini terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui perangkat pintar. Perancangan melibatkan simulasi kapasitas energi surya, kebutuhan rumah tangga, serta algoritma pergantian sumber daya yang optimal. Hasil menunjukkan bahwa integrasi ATS dengan IoT meningkatkan efisiensi sistem, memastikan pasokan energi yang stabil, serta memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan konsumsi energi dan mengurangi biaya operasional. Desain ini mendukung transisi menuju penggunaan energi terbarukan, memberikan solusi inovatif untuk pengelolaan sumber daya energi rumah tangga secara cerdas dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Automatic Transfer Switch (ATS), Internet of Things (IoT), Energi Terbarukan, Rumah Tangga, Efisiensi Energi.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit listrik energi baru dan terbarukan yang perkembangannya cukup pesat beberapa tahun terakhir ini. PLTS sudah cukup banyak diterapkan di Indonesia baik untuk pembangkit listrik skala kecil maupun untuk pembangkit listrik skala besar. Salah satu

sistem PLTS skala kecil yang umum diterapkan adalah PLTS dengan sistem off-grid, dimana sistem ini berdiri sendiri tanpa terkoneksi dengan sumber listrik lain untuk mensuplai kebutuhan beban, mengandalkan energi matahari yang ditangkap oleh panel surya yang selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik yang disimpan di dalam baterai. (Hayusman & Saputera, 2022) Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sendiri

merupakan suatu alat pengaplikasian pada penggunaan energi matahari sebagai energi listrik terbarukan, yaitu teknologi sel surya (fotovoltaik) yang dimanfaatkan sebagai penghasil energi listrik .

Instalasi ini ada 4 komponen penting yang terpasang agar PLTS bisa berfungsi secara optimal, komponen yang digunakan diantaranya: Panel surya, berfungsi untuk mengubah cahaya sinar matahari menjadi energi listrik yang mana merupakan komponen penting yang harus ada di dalam sebuah sistem PLTS. Solar Charge Controller, merupakan perangkat elektronik yang ditempatkan di antara susunan modul surya dan baterai. Alat ini berfungsi untuk mengatur daya pengisian pada baterai dari daya keluaran modul surya sehingga baterai tidak mengalami over charge . Baterai, adalah komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi yang dihasilkan panel surya.

Dalam proses pengisian baterai, istilah Depth of Discharge (DOD) merupakan penentuan dimana besar daya baterai yang bisa disalurkan ke beban melalui inverter. Daya dari baterai tidak dapat disalurkan semuanya sampai baterai dalam keadaan kosong kiranya sebesar 80% saja, yang mana akan mengurangi kualitas umur pakai baterai . Inverter merupakan alat yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak – balik (AC). Dalam perancangan panel surya dibutuhkan 4 komponen utama yaitu daya dan waktu beban selama menyala, daya inverter , daya panel surya dan daya baterai . PLTS menghasilkan daya maksimal tergantung pada besarnya intensitas cahaya yang masuk setiap harinya, cuaca menjadi pengaruh gangguan utama yang dapat mengganggu penyerapan intensitas cahaya yang dapat diserap oleh panel surya untuk diolah menjadi energilistrik (Setyawan & Ulinuha, 2022).

2. METODE PENELITIAN

A. TAHAP STUDI PUSTAKA

Studi pustaka ini diambil dari beberapa jurnal dan juga buku-buku referensi yang digunakan sebagai dasar untuk mengolah data yang ada. Studi pustaka tugas akhir ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Studi sistem PLTS
2. Studi sistem ATS
3. Studi sistem Mikrokontroler ESP32
4. Studi sistem Sensor PZEM 004t
5. Studi sistem Blynk

B. Tahap perancangan dan pembuatan perangkat keras

Perancangan alat ini di sesuaikan dengan fungsi dari komponen komponen yang akan digunakan sehingga siap untuk direalisasikan.

C. Tahap perancangan perangkat lunak

Pengujian perangkat penyusun sistem yang sudah di rancang, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak sebelum di integrasikan mejadi sistem keseluruhan.

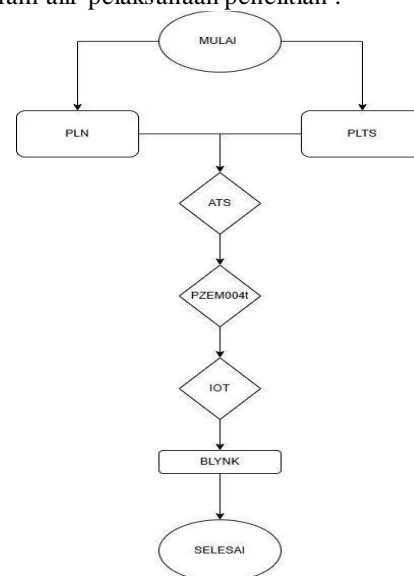
1. Integrasi sistem

Mengintegrasikan perangkat penyusun sistem yang sudah dirancang, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak menjadi sistem keseluruhan.

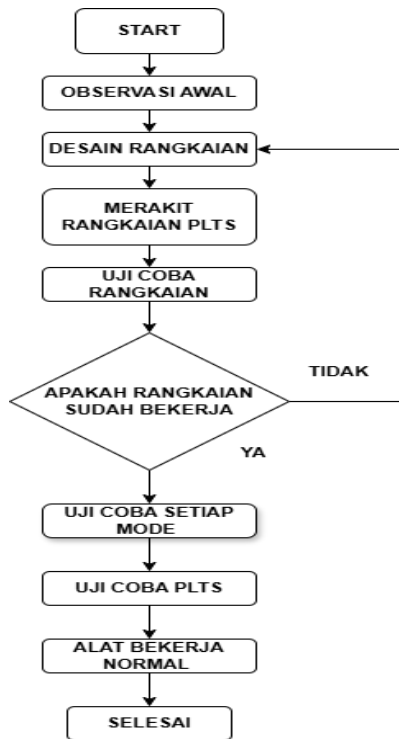
2. Tahap pengujian dan analisa sistem

Menguji sistem yang telah terintegrasi secara menyeluruh untuk selanjutnya dilakukan analisa kinerja sesuai fungsinya

Diagram alir pelaksanaan penelitian :



Gambar 1. Diagram alir



Gambar 2. diagram blok perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya off-grid dengan sistem ats untuk pemindahan sumber energi otomatis pada rumah tangga berbasis internet of things (iot)

Fungsi setiap blok adalah sebagai berikut :

- Blok PLTS : Sumber energi listrik dari tenaga surya.
- Blok PLN : sumber listrik utama yang berasal dari jaringan distribusi PLN.
- Blok ATS : Sistem ATS akan secara otomatis memindahkan sumber energi listrik antara jaringan PLN dan sistem pembangkit listrik tenaga surya, bergantung pada ketersediaan dan prioritas sumber energi.
- Blok sensor tegangan : mengukur dan memantau tegangan yang ada di dalam sistem.
- Blok sensor arus : mengukur dan memantau arus yang mengalir dalam sistem.
- Blok iot : memberikan gambaran arsitektur sistem IoT secara sederhana.
- Blok Blynk : Monitoring & Kontrol

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid yang terintegrasi dengan Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis mikrokontroler ESP32 dan sistem Internet of Things (IoT) menggunakan aplikasi Blynk. Tujuannya adalah menciptakan sistem kelistrikan rumah tangga yang otomatis, efisien, dan dapat dimonitor jarak jauh.

Komponen utama sistem yang telah dirancang terdiri dari:

- Panel surya 10 Wp
- Solar charge controller (SCC) tipe MPPT
- Baterai 12V 45 Ah
- Inverter off-grid 220V 900W
- Relay Omron MK2P-N
- ESP32 sebagai unit kontrol pusat
- Sensor Tegangan DC
- Sensor PZEM-004T
- Aplikasi Blynk untuk monitoring sistem secara real-time

B. Hasil Pengujian Panel Surya

Tujuan Pengujian adalah Mengetahui performa panel surya dalam menghasilkan daya berdasarkan tegangan dan arus maksimum yang diperoleh. Dengan menggunakan alat berupa panel surya 10 Wp dan Multimeter Digital. Diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Panel Surya

Waktu	Voc (V)	Isc (A)	Daya (W)	Keterangan
07.00 WIB	15.20	0.80	12.16	Matahari terbit, intensitas rendah
08.00 WIB	18.50	1.10	20.35	Cuaca cerah, intensitas meningkat
09.00 WIB	19.80	1.35	26.73	Cuaca cerah, intensitas cukup
10.00 WIB	20.48	1.52	31.13	Cuaca cerah, intensitas matahari optimal
11.00 WIB	20.60	1.55	31.93	Puncak intensitas matahari
12.00 WIB	20.55	1.53	31.44	Puncak intensitas matahari
13.00 WIB	19.67	1.42	27.93	Awan mulai menutupi sebagian cahaya
14.00 WIB	18.90	1.30	24.57	Intensitas cahaya mulai menurun
15.00 WIB	17.88	1.20	21.46	Intensitas cahaya menurun menjelang sore
16.00 WIB	16.50	1.00	16.50	Intensitas cahaya semakin rendah
17.00 WIB	14.00	0.70	9.80	Matahari terbenam, intensitas sangat rendah

Berdasarkan data pada Tabel 1, kinerja panel surya 10 Wp menunjukkan variasi sepanjang hari sesuai intensitas cahaya matahari. Pada pagi hari (07.00–09.00), daya meningkat dari 12,16 Watt menjadi 26,73 Watt seiring bertambahnya intensitas cahaya. Pada siang hari (10.00–12.00), panel mencapai performa optimal dengan daya tertinggi 31,93 Watt pada pukul 11.00, meskipun

sedikit menurun menjadi 31,44 Watt pada pukul 12.00. Sementara itu, pada sore hari (13.00–17.00), daya terus menurun hingga 9,80 Watt saat matahari hampir terbenam. Secara rata-rata, panel menghasilkan tegangan 18,37 Volt, arus 1,22 Ampere, dan daya 22,77 Watt. Hasil pengujian panel ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengujian Panel Surya

C. Pengujian Solar Charge Controller (SCC)

Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kinerja SCC MPPT dalam mengatur tegangan dan arus pengisian baterai sekaligus memastikan fungsi perlindungan sistem berjalan dengan baik. Alat dan bahan yang digunakan meliputi SCC MPPT, multimeter, baterai 12V, serta panel surya sebagai sumber energi. Prosedur pengujian dilakukan dengan menghubungkan panel surya ke SCC dan selanjutnya SCC ke baterai. Setelah rangkaian terpasang, dilakukan pengukuran tegangan pada sisi input dan output SCC, kemudian dicatat arus serta tegangan pengisian yang dihasilkan.

Tabel 2. Hasil Pengujian SCC

Parameter	Hasil	Status
Tegangan input	21.9 V	Normal
Tegangan output	20.2 V	Sesuai spesifikasi
Arus output	4.7 A	Stabil

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa Solar Charger Controller (SCC) bekerja optimal dalam mengatur proses pengisian baterai dari panel surya. Tegangan input tercatat sebesar 21,9 V dan output menuju baterai 20,2 V, yang menunjukkan kemampuan SCC menurunkan tegangan sesuai kebutuhan sistem 12 V serta menjaga pengisian tetap aman. Arus output sebesar 4,7 A menandakan proses pengisian berlangsung stabil. Fitur proteksi, seperti overvoltage protection dan low voltage disconnect (LVD), juga terpantau aktif saat dilakukan simulasi beban dan kondisi kritis. Dengan demikian, SCC tidak hanya efektif mengatur tegangan dan arus, tetapi juga memberikan perlindungan yang

diperlukan agar baterai terhindar dari overcharge maupun overdischarge. Hal ini membuktikan bahwa SCC sesuai dengan spesifikasi sistem PLTS off-grid dan mendukung kelangsungan operasi secara optimal. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 4. Pengujian SCC

D. Pengujian Baterai

Pengujian ini bertujuan menilai performa baterai aki 12 V 45 Ah dalam menyimpan energi dari panel surya 10 Wp selama satu hari (07.00–17.00) serta mengestimasi energi masuk ke baterai dan lama catu daya untuk beban tertentu. Perangkat yang digunakan meliputi panel surya 10 Wp, solar charge controller tipe PWM, baterai 12 V 45 Ah, multimeter digital, beban 84 W, pencatat waktu, dan kabel penghubung. Metode pengujian mencakup dua tahap: (1) pengisian, yakni panel dihubungkan ke baterai melalui controller, dengan pencatatan tegangan baterai tiap 1 jam pada kondisi cerah; arus panel diasumsikan mendekati 0,58 A (panel 10 Wp pada 17,2 V optimal); (2) pengosongan, yaitu baterai disambungkan ke beban 84 W melalui inverter dan tegangan dicatat tiap 5 menit hingga mencapai batas aman 11,5 V untuk menentukan durasi suplai daya. Hasil pengujian disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Pengisian Baterai (07.00-17.00)

Waktu	Tegangan Baterai (V)	Arus Masuk (A)*	Cuaca	Keterangan
07.00	12.0	0.20	Cerah	Awal pengisian
08.00	12.2	0.45	Cerah	
09.00	12.4	0.55	Cerah	
10.00	12.6	0.58	Cerah	Arus maksimal
11.00	12.8	0.53	Cerah	
12.00	13.0	0.48	Cerah	
13.00	13.2	0.41	Cerah	
14.00	13.3	0.35	Cerah	
15.00	13.4	0.30	Cerah	
16.00	13.5	0.25	Cerah	
17.00	13.6	0.20	Cerah	Akhir pengisian

Total energi yang masuk per hari:

$$\text{Energi} = 10\text{ W} \times 6 \text{ jam efektif} \approx 60\text{Wh} \rightarrow 60\text{Wh} / 12\text{V} \approx 5\text{AH.}$$

Tabel 4. Data Hasil Pengosongan (Discharge)

Waktu (menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Keterangan
0	12,70	7,00	84	Baterai penuh
30	12,45	6,95	83,5	Stabil
60	12,20	6,90	83	Stabil
90	11,95	6,85	82	Tegangan mulai turun signifikan
120	11,70	6,80	81,5	Penurunan cepat
150	11,40	6,75	81	Hampir cut-off
165	10,80	6,70	80,5	Cut-off, beban dilepas

Total waktu suplai = 165 menit = 2,75 jam

$$\text{Energi total} = \text{Daya} \times \text{Waktu} = 84 \text{ W} \times 2,75 \text{ jam} = 231 \text{ Wh}$$

$$\text{Kapasitas efektif baterai} = \text{Energi} / \text{Tegangan rata-rata} \approx 231 \text{ Wh} / 11,75 \text{ V} \approx 19,65 \text{ Ah}$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengisian dengan panel surya 10 W menghasilkan energi sekitar 60 Wh per hari atau ±5 Ah, dengan arus pengisian 0,20–0,58 A. Laju pengisian yang relatif kecil ini aman bagi umur baterai, namun memerlukan waktu penyinaran panjang untuk mencapai kapasitas penuh. Tegangan akhir pengisian tercatat 13,6 V yang mengindikasikan adanya surface charge, sehingga status muatan (SoC) sebaiknya dicek setelah baterai diistirahatkan sekitar satu jam tanpa beban. Pada tahap pengosongan dengan beban 84 W, baterai mampu menyuplai daya selama 165 menit (±2,75 jam) dengan energi keluaran 231 Wh atau kapasitas efektif ±19,65 Ah. Kapasitas ini lebih rendah dari nominal 45 Ah akibat pembatasan tegangan cut-off 10,8 V, resistansi internal, dan efek Peukert pada arus ±7 A. Perbedaan signifikan antara energi masuk dan keluar menunjukkan perlunya penambahan kapasitas panel atau pengurangan beban agar neraca energi harian seimbang serta umur baterai tetap terjaga. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian Baterai

E. Pengujian Inverter

Pengujian ATS dilakukan selama 5 hari dan data tersebut ditampilkan dalam tabel di bawah ini. Dalam Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan inverter 1000 W dalam mengonversi arus searah (DC) dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) serta mengevaluasi kestabilan output yang dihasilkan. Peralatan yang digunakan meliputi inverter 1000 W, beban AC berupa tujuh lampu 12 W (total 84 W), multimeter digital, dan alat ukur frekuensi. Prosedur pengujian dilakukan dengan menghubungkan inverter ke baterai aki 12 V 45 Ah yang telah terisi penuh, kemudian memasang beban resistif sebesar 84 W pada output AC inverter. Selanjutnya, dilakukan pengukuran tegangan, arus, serta frekuensi menggunakan multimeter digital dan alat ukur frekuensi dengan interval pencatatan setiap 30 menit.

Berdasarkan hasil pengujian, inverter mampu menjaga tegangan output AC pada kisaran 219–220,5 V dengan frekuensi stabil sekitar 50 Hz saat digunakan pada beban 84 W. Arus AC tercatat konstan pada ±0,37–0,38 A, yang menunjukkan kinerja inverter cukup efisien untuk beban kecil hingga menengah. Tegangan baterai mengalami penurunan bertahap hingga mencapai batas cut-off dengan waktu suplai 165 menit (±2,75 jam) dan energi keluaran sekitar 231 Wh, sejalan dengan hasil pengujian baterai. Temuan ini membuktikan bahwa inverter 1000 W bekerja dengan baik dalam menjaga kestabilan tegangan maupun frekuensi, sehingga layak digunakan sebagai pengonversi utama DC ke AC pada sistem PLTS off-grid.



Gambar 4. Pengujian Inverter

F. Pengujian Relay dan ATS

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem Automatic Transfer Switch (ATS) dapat melakukan perpindahan sumber energi secara otomatis dengan baik. Perangkat yang digunakan meliputi relay Omron MK2P-N, sumber daya PLN dan PLTS, modul ESP32, serta beban rumah tangga. Prosedur pengujian dilakukan dengan mensimulasikan pemadaman PLN,

kemudian mengamati waktu switching relay menuju sumber PLTS. Selanjutnya, saat PLN kembali aktif, dilakukan pengukuran waktu perpindahan balik ke sumber utama untuk mengevaluasi kecepatan dan keandalan sistem ATS.

Tabel 5. Hasil Pengujian Relay dan ATS

Skenario	Waktu Switching	Status
PLN->PLTS	< 1 detik	Normal
PLTS->PLN	< 1 detik	Normal

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, sistem Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis ESP32 dengan relay Omron MK2P-N menunjukkan kinerja cepat dan responsif dalam mengalihkan sumber daya antara PLN dan PLTS. Saat simulasi pemadaman dilakukan, perpindahan ke sumber PLTS berlangsung otomatis dalam waktu kurang dari 1 detik, demikian pula saat PLN kembali aktif. Waktu switching ini lebih cepat dari standar ATS (<2 detik), sehingga beban tetap mendapat pasokan daya secara kontinu. Selama proses perpindahan tidak terdeteksi lonjakan tegangan maupun keterlambatan suplai, yang membuktikan sistem ATS bekerja stabil, aman, dan efisien serta layak diandalkan untuk menjaga kontinuitas daya pada sistem PLTS off-grid.

G. Pengujian ESP32

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak maksimal modul ESP32 dapat terhubung ke jaringan WiFi, sehingga dapat dijadikan acuan dalam menentukan penempatan perangkat pada sistem IoT monitoring PLTS. Alat yang digunakan meliputi modul ESP32, router WiFi atau hotspot smartphone, laptop dengan Arduino IDE dan aplikasi serial monitor, meteran untuk pengukuran jarak, serta powerbank sebagai sumber daya. Prosedur dilakukan dengan mengunggah program WiFi scanner ke ESP32 melalui Arduino IDE, kemudian menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi dari hotspot smartphone. Selanjutnya, perangkat ditempatkan pada titik awal (0 meter) untuk memastikan koneksi stabil, lalu dipindahkan secara bertahap pada jarak 5 m, 10 m, 15 m, dan seterusnya. Pencatatan dilakukan untuk mengetahui jarak maksimum di mana ESP32 masih dapat terhubung serta mempertahankan kestabilan koneksi WiFi.

Tabel 6. Hasil Pengujian ESP32

No	Jarak dari Router/Hotspot (meter)	Status Koneksi WiFi	Keterangan
1	0	Terhubung	Koneksi stabil
2	5	Terhubung	Koneksi baik
3	10	Terhubung	Koneksi cukup stabil
4	15	Terhubung	Terkadang putus-nyambung
5	20	Terputus	Tidak dapat terhubung

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESP32 mampu menjaga koneksi WiFi secara stabil hingga jarak sekitar 10 meter dari sumber WiFi pada kondisi tanpa penghalang. Di atas jarak tersebut koneksi mulai tidak stabil dan terputus pada kisaran 20 meter. Jangkauan ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti keberadaan tembok, interferensi sinyal, dan posisi antena. Dengan demikian, pada sistem monitoring PLTS berbasis IoT, penempatan modul ESP32 sebaiknya tidak lebih dari 8–10 meter dari sumber WiFi agar kualitas koneksi tetap optimal.

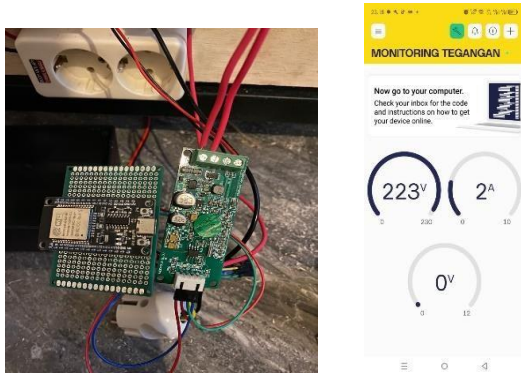
H. Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi akurasi pembacaan parameter listrik oleh sensor PZEM-004T serta memastikan komunikasi data dengan mikrokontroler ESP32 berjalan dengan baik. Alat yang digunakan meliputi modul ESP32, sensor PZEM-004T, beban listrik variatif, dan multimeter sebagai alat pembanding. Prosedur dilakukan dengan menghubungkan sensor ke jalur AC dan ESP32 melalui komunikasi UART, kemudian beban listrik diaktifkan secara bertahap. Hasil pengukuran dari sensor PZEM-004T dipantau dan dibandingkan dengan pembacaan multimeter untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor.

Tabel 7. Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T

Parameter	PZEM (Hasil)	Multimeter	Deviasi (%)
Tegangan (V)	221.5	220.8	0.32
Arus (A)	1.90	1.85	2.70

Berdasarkan data pada Tabel 7, sensor PZEM-004T menunjukkan akurasi pembacaan parameter listrik yang baik. Tegangan yang terukur melalui PZEM sebesar 221,5 V, sedangkan multimeter mencatat 220,8 V dengan deviasi 0,32%. Untuk arus, PZEM mencatat 1,90 A dan multimeter 1,85 A, dengan deviasi 2,70%. Nilai deviasi di bawah 3% ini membuktikan bahwa PZEM-004T cukup andal untuk pengukuran daya rumah tangga. Selain itu, ESP32 mampu menerima data dari sensor melalui komunikasi UART dan menampilkannya secara real-time pada Serial Monitor maupun aplikasi Blynk. Selama pengujian, komunikasi serial berjalan stabil tanpa error pembacaan atau keterlambatan transmisi. Dengan demikian, kombinasi sensor PZEM-004T dan ESP32 layak digunakan dalam sistem monitoring tegangan dan arus sumber PLN secara efisien dan akurat.



Gambar 5. Pengujian Sensor PZEM-004T

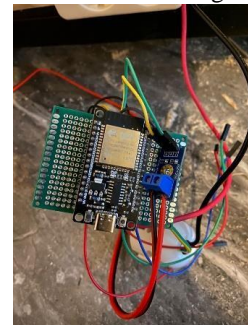
I. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi pembacaan sensor tegangan DC terhadap keluaran panel surya 10 Wp dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dan multimeter digital. Alat yang digunakan meliputi panel surya 10 Wp, sensor tegangan DC berbasis voltage divider, multimeter digital, serta breadboard dan kabel jumper. Prosedur dilakukan dengan menghubungkan panel surya ke input sensor tegangan, kemudian mengukur tegangan output sensor menggunakan multimeter digital. Hasil tersebut dibandingkan dengan tegangan keluaran langsung dari panel, untuk kemudian dicatat selisih pembacaan dan dihitung deviasinya guna menentukan tingkat akurasi sensor.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sensor Tegangan dan ESP32

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Deviasi (V)	Keterangan
10.00 WIB	20.48	1.52	1.14	Cuaca cerah, intensitas matahari cukup
13.00 WIB	19.67	1.42	0.33	Awan mulai menutupi sebagian cahaya
15.00 WIB	17.88	1.20	1.46	Intensitas cahaya menurun menjelang sore

Dari hasil pengujian, sensor tegangan menunjukkan deviasi rata-rata sekitar 1.46%, yang masih tergolong akurat untuk sistem monitoring tegangan sederhana. Nilai deviasi dipengaruhi oleh toleransi resistor pada rangkaian voltage divider serta fluktuasi intensitas cahaya matahari. Sensor ini cukup layak digunakan dalam aplikasi pembacaan tegangan langsung dari panel surya skala kecil seperti 10 Wp. Dengan demikian, sistem pembacaan tegangan berbasis sensor analog dan ESP32 ini dapat diandalkan sebagai komponen monitoring dalam sistem PLTS off- grid.



Gambar 6. Uji Sensor Tegangan dan ESP32

I. Pengujian Relay 1 Sebagai Pengendali Relay Utama (ATS)

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan fungsi relay 1 yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 dalam mengaktifkan relay utama (Omron MK2P-N) sebagai bagian dari sistem Automatic Transfer Switch (ATS) dalam pemindahan sumber daya listrik secara otomatis. Alat yang digunakan pada pengujian meliputi ESP32, relay modul 1 channel, relay utama Omron MK2P-N, beban listrik berupa lampu, bor, dan pompa air, sumber listrik dari PLN dan PLTS, multimeter, stopwatch, serta kabel jumper dan breadboard. Prosedur dilakukan dengan merangkai relay 1 dan relay utama sesuai desain sistem, di mana relay 1 menerima kendali langsung dari output digital ESP32. Selanjutnya, program pada ESP32 diunggah agar dapat mengaktifkan relay 1 ketika mendeteksi tegangan dari sumber PLN maupun PLTS. Relay 1 kemudian dihubungkan ke kumpulan relay utama sehingga ketika aktif, relay utama juga ikut aktif dan melakukan switching beban. Skenario simulasi dilakukan dengan memutus suplai dari PLN sehingga ESP32 mengaktifkan relay 1 dan memindahkan relay utama ke sumber PLTS. Selama pengujian, dilakukan pengamatan terhadap waktu switching dan kestabilan sinyal yang dikirimkan dari ESP32 ke relay 1, serta dari relay 1 ke relay utama.

Tabel 9. Hasil Pengujian Relay 1 dan Relay Utama

Skenario	Output ESP32	Status Relay 1	Status Relay Utama	Waktu Switching	Keterangan
PLN aktif	OFF	OFF	PLN aktif	-	Sistem standby
PLN padam	ON	ON	PLTS aktif	< 1 detik	Switching otomatis berhasil
PLN kembali menyala	OFF	OFF	PLN aktif	< 1 detik	Switching kembali berhasil

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 9, relay 1 yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 terbukti berfungsi secara efektif dalam mengaktifkan relay utama (Omron MK2P-N) pada sistem Automatic Transfer Switch (ATS). Pada kondisi normal ketika suplai listrik dari PLN tersedia, output digital ESP32 berada dalam kondisi OFF, sehingga relay 1 dan relay utama juga tidak aktif, dan beban tetap mendapatkan suplai daya dari PLN.

Namun, saat dilakukan simulasi pemadaman PLN, ESP32 secara otomatis mengubah status output digital menjadi ON, sehingga relay 1 aktif dan menggerakkan relay utama. Proses ini menghasilkan perpindahan sumber daya dari PLN ke PLTS dengan waktu switching kurang dari **1 detik**, menunjukkan respons sistem yang cepat dan sesuai kebutuhan kelistrikan yang menuntut kontinuitas daya.

Begitu pula ketika suplai listrik dari PLN kembali normal, ESP32 mematikan relay 1, sehingga relay utama kembali beralih ke sumber PLN dengan durasi switching yang relatif sama. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa ESP32 mampu mendeteksi perubahan status tegangan dengan akurat serta mengendalikan relay 1 menggunakan sinyal yang stabil. Selain itu, relay 1 terbukti cukup andal untuk menggerakkan kumparan relay utama tanpa menimbulkan delay ataupun gangguan.

I. Pengujian IoT Blynk

Pengujian antarmuka pengguna (User Interface/UI) pada aplikasi Blynk dilakukan untuk memastikan bahwa tampilan dan fungsi yang dirancang dapat berjalan sesuai kebutuhan sistem. Peralatan yang digunakan meliputi aplikasi Blynk pada smartphone, laptop dengan Arduino IDE, serta koneksi Wi-Fi sebagai penghubung perangkat. Tahapan pengujian dimulai dengan mengunduh aplikasi Blynk IoT melalui Play Store atau App Store, kemudian

membuat akun baru apabila belum tersedia. Setelah itu, pengguna membuka aplikasi, menambahkan template atau project baru dengan nama yang sesuai, misalnya *Monitoring Energi PLTS*, dan memperoleh *Auth Token* yang disediakan oleh Blynk. Token ini nantinya digunakan dalam pemrograman ESP32 untuk menghubungkan perangkat keras dengan aplikasi.

Tabel 10. Hasil Pengujian IoT Blynk

Parameter	Widget	Virtual Pin
Tegangan AC	Gauge	V0
Arus AC	Gauge	V1
Tegangan DC	Gauge	V2
Daya AC	Gauge	V3
Frekuensi	Gauge	V4

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 10, dapat disimpulkan bahwa aplikasi Blynk berhasil menampilkan data dari sensor secara realtime menggunakan widget Gauge yang telah dikonfigurasi dengan Virtual Pin yang sesuai. Widget Gauge digunakan karena memberikan tampilan visual yang mudah dipahami oleh pengguna, terutama dalam memantau besaran listrik secara cepat. Tegangan AC ditampilkan melalui Gauge yang terhubung ke Virtual Pin V0, sedangkan Arus AC menggunakan V1, dan Tegangan DC menggunakan V2.

Setiap parameter yang ditampilkan di aplikasi Blynk sesuai dengan data sensor yang terbaca oleh mikrokontroler ESP32. Saat terjadi perubahan pada kondisi sistem, seperti penambahan atau pengurangan beban, nilai arus dan tegangan secara otomatis ter-update pada aplikasi dengan jeda waktu yang sangat singkat. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat responsif yang baik. Selain itu, tidak ditemukan kesalahan pembacaan data atau keterlambatan yang signifikan antara data yang ditampilkan di aplikasi dan data yang terbaca pada Serial Monitor.

Dari sisi antarmuka, tampilan Blynk sangat mendukung dalam proses pemantauan karena tata letak widget tersusun rapi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Widget Gauge memberikan visualisasi yang jelas, dan setiap parameter dilengkapi label yang informatif, sehingga pengguna dengan latar belakang non-teknis sekalipun dapat memahami informasi yang disampaikan. Secara keseluruhan, antarmuka pengguna (UI) dan fungsionalitas aplikasi Blynk bekerja dengan baik dan sesuai dengan rancangan sistem, serta dapat diandalkan sebagai media pemantauan jarak jauh dalam sistem PLTS berbasis IoT

J. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem terintegrasi dilakukan untuk memastikan kinerja keseluruhan, meliputi perpindahan sumber daya otomatis antara PLN dan PLTS, efisiensi kerja sistem, serta pemantauan berbasis IoT guna menjamin keandalan suplai daya rumah tangga. Proses pengujian dilakukan dengan menyalakan beban rumah tangga, kemudian mensimulasikan pemadaman PLN untuk mengamati perpindahan suplai ke PLTS, serta mengaktifkan kembali PLN setelah lima menit untuk memantau perpindahan balik. Selama pengujian, data tegangan dan arus dipantau melalui aplikasi Blynk menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T. Pengulangan skenario dilakukan beberapa kali untuk menilai konsistensi sistem dalam menjaga kestabilan suplai daya.

Tabel 11. Hasil Pengujian Alat Keseluruhan

No	Komponen / Sistem	Parameter yang Diuji	Kondisi Pengujian	Hasil
1	Panel Surya	Tegangan & Arus Keluaran	Cuaca cerah, beban terhubung	Tegangan 18-19V, arus 4-5A
2	Solar Charge Controller	Tegangan input & output	Terhubung ke panel & baterai	Input sesuai panel, output stabil 14.2V
3	Baterai	Tegangan saat penuh & kosong	Pengisian & pengosongan beban 84W	Full: 12.8V, Low: 11.8V
4	Inverter	Tegangan & stabilitas output	Beban 84W	Output stabil 220V AC
5	ATS & Relay	Waktu pindah sumber	PLTS → PLN dan sebaliknya	< 1 detik tanpa gangguan beban
6	ESP32 + PZEM-004T	Monitoring tegangan & arus	Terhubung ke beban	Data real-time sesuai multimeter
7	IoT Blynk	Pengiriman data	WiFi stabil	Data tampil real-time di aplikasi
8	Sistem Keseluruhan	Kinerja semua komponen	Operasi penuh	Sistem bekerja stabil dan otomatis

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 11, seluruh komponen sistem PLTS Off-Grid dengan ATS otomatis dan monitoring IoT berbasis ESP32 menunjukkan kinerja yang optimal. Panel surya mampu menghasilkan tegangan rata-rata 18–19 V dengan arus 4–5 A pada kondisi cuaca cerah, sehingga cukup untuk mengisi baterai secara efisien melalui solar charge controller (SCC). SCC bekerja stabil dengan output konstan sekitar 14,2 V, memastikan baterai terisi penuh tanpa risiko overcharging. Baterai menunjukkan performa baik dengan tegangan penuh 12,8 V dan batas

minimum aman 11,8 V pada saat diuji dengan beban sebesar 84 W. Inverter berfungsi dengan baik dalam mengubah tegangan DC menjadi AC 220 V secara stabil tanpa penurunan signifikan meskipun diberi beban. Sistem ATS dan relay bekerja sangat responsif, mampu melakukan perpindahan sumber daya antara PLTS dan PLN dalam waktu kurang dari satu detik tanpa menimbulkan gangguan pada beban. Mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T juga terbukti mampu memantau tegangan dan arus dengan tingkat akurasi tinggi yang sejalan dengan hasil pengukuran alat referensi. Integrasi dengan aplikasi Blynk berjalan lancar, sehingga pengguna dapat memantau data secara real-time dari jarak jauh. Secara keseluruhan, sistem terbukti stabil, responsif, dan andal dalam mendukung suplai listrik rumah tangga, sekaligus mampu memanfaatkan energi terbarukan secara efek.

K. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS off-grid dengan ATS otomatis berbasis IoT berhasil diwujudkan dan bekerja sesuai perancangan. Panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama yang disimpan pada baterai, kemudian disalurkan ke beban melalui inverter. Saat suplai listrik dari PLN terputus, sistem ATS yang dikendalikan mikrokontroler ESP32 secara otomatis memindahkan sumber energi ke PLTS dalam waktu kurang dari satu detik, sehingga pasokan listrik tetap terjaga tanpa intervensi manual maupun gangguan berarti pada beban. Selain itu, implementasi aplikasi Blynk untuk monitoring juga berjalan baik, di mana sensor arus PZEM-004T mampu menampilkan parameter kinerja sistem secara real-time, meliputi tegangan, arus, daya, energi, dan frekuensi, sementara sensor tegangan DC dapat membaca keluaran sel surya dengan akurat sehingga sistem monitoring mampu memberikan informasi yang lengkap kepada pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rachmi, B. Prakoso, Hanny Berchmans, I. Devi Sara, and Winne, *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia*, II. ESDM, 2020. [Online]. Available: <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=XOegh8pXO9FMjeb14x0joDD6hIZe94Fm>
- [2] A. STEFANIE and F. C. SUCI, “Analisis Performansi PLTS Off-Grid 600 Wp menggunakan Data Akuisisi berbasis Internet of Things,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 4, p. 761, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.761.
- [3] D. dan H. K. Praditidhina, Elisabeth, Rosana, *Penggunaan Arduino Uno dan Common-Coding*. Surabaya: Cipta Media Nusantara, 2016.
- [4] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, “Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif,”

- Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, doi: 10.23917/emit.v18i01.6251.
- [5] M. T. Tamam and R. Romadhoni, “Pengaman Pintu Gedung Otomatis Menggunakan E-KTP Berbasis NodeMCU dan RFID-RCS22 dengan Notifikasi Whatsapp Application,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 22–30, 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.910.
- [6] K. Masykuroh, F. T. Syifa, and F. A. Pamungkas, “Rancang Bangun Prototipe Pemantau Kekeuhan Air dan Pengaturan Pakan Ikan pada Akuarium Menggunakan Nodemcu ESP32,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 31–40, 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.917.
- [7] Hayusman, L. M., & Saputera, N. (2022). Studi Perencanaan Panel Kendali PLTS-PLN Berdasarkan Kapasitas Baterai Untuk PLTS OFF-GRID. *Jurnal Sains Terapan*, 8(1), 35–44.
- [8] Marhatang, M., Pangkung, A., & Tandioaga, R. (2022). Perancangan dan implementasi sistem kendali automatic transfer switch antara plts off-grid dengan jaringan pln. *Prosiding 6th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2022*, 144–149.
- [9] Naim, M. (2017). *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Mahalona Kecamatan Towuti*. 9(1), 27–32.
- [10] Nalle, D. Y., Mauboy, E. R., & Galla, W. F. (2024). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid Untuk Kebutuhan Rumah Tangga di Desa Delo Kabupaten Sabu Raijua*. 1(1), 11–19.
- [11] Pasaribu, R. M., & Tharo, Z. (2023). Mekanisme Perencanaan Plts Off-Grid Untuk Daya 1300 Va Pada Rumah Tinggal. *E-Link: Jurnal Teknik Elektro Dan Informatika*, 18(2), 52. <https://doi.org/10.30587/e-link.v18i2.6129>
- [12] Putera, A. R., Nizam, M., & Adriyanto, F. (2022). Design and Build Automatic Transfer Switch (ATS) Based Internet of Things on Microgrid System.
- [13] *Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology*, 4(2), 34. <https://doi.org/10.20961/jeeict.4.2.64700>
- [14] Setyawan, A., & Ulinuha, A. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Untuk Supply Charge Station. *Transmisi*, 24(1), 23–28. <https://doi.org/10.14710/transmisi.24.1.23-28>
- [15] Suprihartini, Y., Taryana, & Soebiantoro, R. (2023). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Offgrid di Hangar Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 20776–20783.
- [16] Syahfii, S., Mayura, Y., & Muhardika, M. (2020). Strategi Pembebanan PLTS Off Grid untuk Peningkatan Kontinuitas Suplai Energi Listrik. *Jurnal Rekayasa Elekrika*, 15(3). <https://doi.org/10.17529/jre.v15i3.14793>
- [17] Syahwil, M., & Kadir, N. (2021). Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1), 26–35. <https://doi.org/10.14710/jplp.3.1.26-35>
- [18] Wasono, A., Karuniawan, E. A., Hardito, A., & ... (2024). Penerapan Rancang Bangun PLTS Sistem Off-Grid Sebagai Kendali Penyiraman Otomatis Berbasis PLC Pada Perkebunan Widuri di Desa Wonokerto, Kecamatan *Jurnal Pengabdian ...*, 5(2), 19851989. <http://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jpkm/article/view/3145%0Ahttp://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jpkm/article/download/3145/2228>