

SISTEM KONTROL DAN MONITORING BERBASIS IOT PADA OFF-GRID HYBRID POWER SYSTEM PLTS-PLN

Nur Afiyat¹⁾, dan Moh Muhtaromin²⁾

^{1, 2)} Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro Universitas Qomaruddin
Jl. Raya Bungah No.1 Bungah Gresik 61152 Jawa Timur Indonesia
e-mail: nurafiyat@uqgresik.ac.id¹⁾, romin2771@gmail.com²⁾

ABSTRAK

Pemanfaatan energi surya di Indonesia masih belum optimal meskipun memiliki potensi radiasi matahari yang tinggi, yaitu sekitar 4,8 kWh/m² per hari. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada off-grid hybrid power system PLTS-PLN. Metode yang digunakan mencakup integrasi sensor tegangan dan PZEM-004T dengan mikrokontroler NodeMCU untuk pemantauan arus, tegangan, daya, dan energi, serta penggunaan Low Voltage Disconnect (LVD) dan Real-Time Clock (RTC) sebagai pengendali perpindahan sumber daya berdasarkan tegangan baterai dan waktu. Prototipe sistem dirancang dalam bentuk miniatur rumah dengan sistem kendali otomatis dan aplikasi monitoring real-time berbasis Blynk. Pengujian dilakukan selama 72 jam dengan pengukuran delay menggunakan Wireshark sebagai evaluasi quality of service (QoS). Hasil menunjukkan sistem berhasil mengalihkan sumber daya secara otomatis: PLTS aktif saat tegangan baterai $\geq 12V$ dan waktu 07:00–17:00 WIB, serta PLN digunakan di luar waktu atau saat tegangan baterai rendah. Rata-rata delay sistem tercatat 6,012 ms, termasuk dalam kategori “sangat bagus” menurut standar TIPHON (<150 ms). Sistem terbukti andal, efisien, dan responsif dalam memonitor serta mengelola sumber daya listrik secara otomatis. Sistem ini berpotensi meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan, khususnya di wilayah yang belum sepenuhnya terjangkau oleh jaringan listrik.

Kata Kunci: sistem hybrid off-grid PLTS-PLN, IoT, kontrol LVD, monitoring tegangan, real-time.

ABSTRACT

The utilization of solar energy in Indonesia remains suboptimal despite its high solar radiation potential, which averages around 4.8 kWh/m² per day. This study aims to develop an IoT-based control and monitoring system for an off-grid hybrid power system combining PLTS (solar power plant) and PLN (state electricity grid). The proposed method involves the integration of a voltage sensor and a PZEM-004T sensor with a NodeMCU microcontroller for monitoring current, voltage, power, and energy, as well as the use of a Low Voltage Disconnect (LVD) and Real-Time Clock (RTC) for source switching based on battery voltage and time. A prototype system was designed in the form of a miniature house with an automatic control mechanism and a real-time monitoring application using the Blynk platform. The system was tested over 72 hours, and delay measurements were conducted using Wireshark to evaluate the Quality of Service (QoS). The results show that the system successfully switches the power source automatically: PLTS is activated when the battery voltage is $\geq 12 V$ and during the period from 07:00 to 17:00 WIB, while PLN is used outside this time range or when the battery voltage drops. The system recorded an average delay of 6.012 ms, which falls into the “excellent” category based on TIPHON standards (<150 ms). The system proved to be reliable, efficient, and responsive in monitoring and managing electrical power sources automatically. This system has the potential to enhance the utilization of renewable energy, particularly in areas not yet fully covered by the conventional electricity grid.

Keywords: hybrid off-grid system PLTS-PLN, IoT, LVD control, voltage monitoring, real-time.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN akan energi listrik merupakan salah satu aspek mendasar dalam mendukung aktivitas manusia di era modern. Seluruh sektor kehidupan seperti rumah tangga, industri, transportasi, pendidikan, hingga pelayanan publik sangat bergantung pada pasokan listrik yang andal dan berkelanjutan. Seiring pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi di Indonesia, konsumsi energi listrik mengalami peningkatan yang signifikan

dari tahun ke tahun. Ketergantungan terhadap energi fosil sebagai sumber utama pembangkitan listrik masih sangat tinggi, padahal cadangan energi fosil bersifat terbatas dan tidak ramah lingkungan. Dalam konteks tersebut, pemanfaatan sumber energi terbarukan menjadi sangat penting, salah satunya melalui pemanfaatan energi surya [1]. Berkat kemajuan teknologi, radiasi matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan panel surya [2]. Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa memiliki potensi radiasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m² per hari

[3], menjadikannya negara yang ideal untuk pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sebagai solusi energi bersih, terbarukan, dan berkelanjutan [4].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem PLTS *off-grid* guna menjawab kebutuhan energi yang efisien dan berkelanjutan, terutama di daerah yang belum sepenuhnya terjangkau jaringan listrik nasional. Penelitian oleh [5] menunjukkan bahwa penerapan sistem PLTS *off-grid* sebagai suplai daya utama pada gedung pendidikan mampu menghemat biaya operasional energi dan mendukung keberlanjutan. Sistem tersebut menggunakan panel surya secara mandiri tanpa dukungan dari jaringan PLN, sehingga sepenuhnya mengandalkan radiasi matahari. Di sisi lain, [6] merancang sistem kontrol PLTS-PLN yang menggunakan kapasitas baterai sebagai dasar pengalihan beban listrik. Penelitian ini mengintegrasikan perangkat *Low Voltage Disconnect* (LVD) untuk mengontrol perpindahan otomatis sumber daya listrik guna menjaga umur pakai baterai [7]. Sementara itu, [4] fokus pada pengembangan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi panel surya secara *real-time* melalui *platform* Thingspeak. Data arus dan tegangan yang ditampilkan dapat diakses menggunakan *smartphone* atau komputer melalui aplikasi pihak ketiga seperti Thingview [8].

Meskipun telah banyak penelitian dilakukan, beberapa kendala masih ditemukan pada sistem yang dikembangkan sebelumnya. Sistem *off-grid* yang dirancang [5], meskipun memberikan efisiensi biaya, tidak dilengkapi dengan integrasi jaringan PLN sebagai sumber cadangan, sehingga tidak menjamin kesinambungan pasokan energi jika intensitas radiasi matahari rendah atau baterai kehabisan daya. Penelitian oleh [6] sudah memungkinkan perpindahan otomatis dari PLTS ke PLN berdasarkan tegangan baterai, tetapi belum dilengkapi sistem pemantauan berbasis jaringan, sehingga tidak mendukung pemantauan jarak jauh secara *real-time*. Selain itu, meskipun sistem monitoring yang dikembangkan oleh [4] memungkinkan pemantauan tegangan dan arus secara langsung, sistem ini belum mengukur parameter penting lainnya seperti daya (Watt) dan energi total (kWh), yang sangat diperlukan untuk evaluasi performa sistem. Dengan kata lain, belum ada sistem yang sepenuhnya mengintegrasikan fungsi kontrol otomatis dan pemantauan menyeluruh berbasis IoT dalam satu *platform* yang responsif dan efisien.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN yang mampu melakukan perpindahan sumber daya secara otomatis berdasarkan dua parameter

utama: tegangan baterai dan waktu operasional. Sistem ini menggunakan LVD dan *Real-Time Clock* (RTC) sebagai pengendali *switching* otomatis antara suplai dari PLTS dan PLN. Untuk monitoring, digunakan sensor tegangan serta sensor PZEM-004T yang dapat mendeteksi arus, tegangan, daya, dan energi secara *real-time*. Data akan dikirim ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet sehingga dapat dipantau pengguna secara langsung melalui *smartphone*. Inovasi ini diharapkan dapat menjawab berbagai keterbatasan sistem sebelumnya, serta memberikan solusi yang dapat diterapkan secara praktis di wilayah dengan keterbatasan pasokan listrik. Keunggulan sistem terletak pada kemampuannya dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan, memperpanjang usia baterai, serta meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan energi secara menyeluruh.

II. METODE PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DAN MONITORING BERBASIS IOT PADA *OFF-GRID HYBRID POWER SYSTEM* PLTS-PLN

A. Sistem Kontrol *Off-Grid Hybrid Power System* PLTS-PLN

Sistem kontrol *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN merupakan sistem yang menggabungkan panel PLTS dengan jaringan listrik PLN untuk memastikan pasokan listrik yang andal. Integrasi LVD dan RTC pada mikrokontroler NodeMCU dapat memberikan kontrol otomatis pada sistem ini [9]. LVD mendeteksi penurunan tegangan baterai pada sistem *off-grid*. Ketika tegangan baterai mencapai batas yang ditetapkan, LVD akan memutuskan pasokan daya dari baterai ke beban untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada baterai yang disebabkan oleh pemakaian berlebih. Ini membantu memperpanjang umur baterai dan memastikan ketersediaan daya saat diperlukan.

Sedangkan RTC adalah perangkat keras yang memberikan informasi waktu secara terus-menerus dan akurat, bahkan ketika sistem tidak dalam keadaan aktif. Dalam konteks *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN, RTC memungkinkan sistem untuk menjadwalkan aktivitas tertentu berdasarkan waktu, dalam hal ini RTC mengatur waktu operasi beban yang terhubung ke sistem apakah dihubungkan ke PLTS atau ke jaringan PLN. Dengan menggabungkan LVD dan RTC pada mikrokontroler NodeMCU, maka sistem kontrol *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN dapat mengoptimalkan penggunaan energi, memperpanjang umur baterai, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan dari sistem. Ini juga memungkinkan kontrol dan monitoring yang lebih baik serta penjadwalan operasi berdasarkan kondisi baterai dan waktu yang tepat [10] [11] [12] [13].

B. Sistem Monitoring Off-Grid Hybrid Power System PLTS-PLN Berbasis IoT

Sistem monitoring *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN berbasis IoT memanfaatkan teknologi sensor untuk memberikan pemantauan terhadap kinerja *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN. Melalui penggunaan *voltage sensor* untuk memonitor tegangan baterai dan sensor PZEM-004T untuk memantau arus, tegangan, daya, dan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS. Sistem monitoring *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN berbasis IoT memantau kondisi dan kinerja sistem secara terus-menerus [13] [14].

Dua jenis sensor yang digunakan mempunyai fungsi masing-masing. *Voltage sensor* digunakan untuk memantau tegangan baterai pada sistem *off-grid*. Ini memungkinkan pengguna untuk mengetahui level tegangan baterai secara *real-time*. Dengan memantau tegangan baterai, pengguna dapat memastikan bahwa tegangan berada dalam rentang yang aman dan optimal. Ketika tegangan baterai mendekati batas atas atau batas bawah yang ditentukan, sistem dapat memberikan peringatan dan melakukan tindakan otomatis yaitu mengalihkan dari PLTS ke jaringan PLN. Sedangkan sensor PZEM-004T adalah sensor *all-in-one* yang dapat memantau arus, tegangan, daya, dan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS [15]. Sensor ini dipasang di antara panel surya dan baterai atau beban untuk memantau kinerja PLTS secara keseluruhan. Dengan informasi yang diberikan oleh sensor ini, pengguna dapat memantau berapa banyak energi yang dihasilkan oleh PLTS, berapa banyak daya yang digunakan oleh beban, dan berapa banyak daya yang disimpan atau dibuang. Ini membantu dalam pemantauan kinerja sistem secara keseluruhan dan memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan penggunaan energi. Integrasi kedua sensor ini dalam sistem monitoring *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN memungkinkan pengguna untuk memiliki pemahaman yang lebih baik tentang kondisi dan kinerja sistem secara keseluruhan [16] [17] [18].

Sistem ini menghadirkan visibilitas yang komprehensif terhadap kondisi dan kinerja *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN. Data yang dikumpulkan oleh kedua sensor tersebut dikirimkan melalui koneksi internet ke *platform* IoT, memungkinkan pengguna untuk memantau secara *real-time* melalui aplikasi web atau perangkat lunak khusus pada smartphone. Dengan demikian, pengguna dapat dengan mudah memantau tegangan baterai, arus, dan kinerja PLTS secara keseluruhan, serta mengambil tindakan yang diperlukan secara proaktif untuk memastikan ketersediaan daya yang andal dan efisiensi energi yang optimal [19] [20].

Untuk mengetahui kinerja sistem monitoring yang dikembangkan, maka diperlukan parameter dari

Quality of Service (QoS). QoS merupakan konsep dalam jaringan komputer yang merujuk pada kemampuan untuk memberikan jaminan performa tertentu terhadap lalu lintas jaringan. QoS memungkinkan pengelolaan sumber daya jaringan dengan prioritas tertentu untuk berbagai jenis data, aplikasi, atau pengguna. Ini mencakup berbagai mekanisme dan teknik untuk memastikan bahwa parameter performa seperti bandwidth, latensi (*delay*), jitter (variabilitas *delay*), dan *packet loss* (kehilangan paket) tetap dalam batas-batas yang dapat diterima. Tujuan utama QoS adalah untuk memastikan bahwa aplikasi atau layanan yang sensitif terhadap keterlambatan, seperti *Voice over IP* (VoIP), *video streaming*, dan aplikasi *real-time* lainnya, dapat berjalan dengan baik tanpa terganggu oleh lalu lintas jaringan lainnya yang kurang sensitif terhadap keterlambatan [21]. Parameter QoS yang digunakan dalam penelitian ini adalah *delay* dengan standar acuan yang ditetapkan *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON). *Delay* atau latensi merujuk pada waktu yang diperlukan untuk suatu sinyal atau data untuk berpindah dari titik awal ke titik tujuan dalam suatu jaringan. Untuk perhitungan parameter *delay* pada persamaan (1) dan (2), sedangkan untuk standar *delay* berdasarkan TIPHON ditampilkan pada tabel 1.

$$\text{Delay (\%)} = \text{delay 2} - \text{delay 1} \quad (1)$$

$$\text{Rata - rata delay} = \frac{\sum \text{delay}}{\text{jumlah paket}} \quad (2)$$

dengan:

- *delay 1* = *delay* pengiriman pertama
- *delay 2* = *delay* pengiriman kedua
- $\sum \text{delay}$ = jumlah selisih *delay*

TABEL I
Delay Standar TIPHON

Kategori Delay	Delay (ms)	Indeks
Sangat Bagus	<150	4
Bagus	150 – 300	3
Sedang	300 – 450	2
Buruk	>450	1

C. Rancangan Sistem

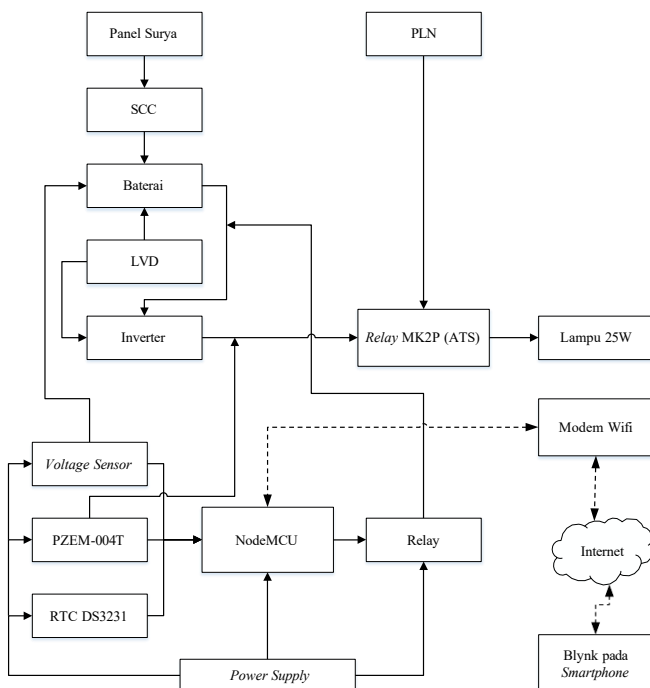
Rancangan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN dengan tiga bagian yaitu: 1) *Prototype* sistem, 2) Sistem elektrik, dan 3) Software sistem.

1) Prototype Sistem

Prototype sistem ini berbentuk miniatur rumah dengan dimensi panjang sekitar 70 cm, lebar 44 cm, dan tinggi 70 cm. Di bagian atap miniatur rumah, terdapat dua unit panel surya dengan dimensi panjang 100 cm dan lebar 46 cm, yang berfungsi menangkap energi sinar matahari. Komponen elektrik akan

ditempatkan dalam box panel berukuran panjang 20 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 40 cm, yang diletakkan di sisi samping miniatur rumah untuk memudahkan akses dan pemeliharaan. Mikrokontroler NodeMCU dan sensor-sensor akan ditempatkan dalam duradus box yang posisinya berada di atas box panel tersebut, sehingga memungkinkan integrasi yang lebih efisien dan perlindungan dari lingkungan luar. Untuk hubungan antar komponen dan alur kerja keseluruhan rangkaian pada sistem bisa dilihat pada gambar 1. Rancangan detil *prototype* sistem ini dapat dilihat dengan jelas pada gambar 2, memberikan gambaran lengkap tentang tata letak setiap komponen dalam sistem.

Diagram blok sistem digunakan untuk pada gambar 1 menunjukkan hubungan antar komponen dan alur kerja keseluruhan rangkaian. Selain itu, tujuan dari diagram ini adalah untuk memudahkan perancangan dan pembuatan alat sehingga tercipta sebuah alat yang sesuai dengan kebutuhan. Untuk integrasi secara *wire* ditunjukkan dengan garis yang berkesinambungan, sedangkan integrasi secara *wireless* ditunjukkan dengan garis putus-putus. Selanjutnya, penjelasan dari diagram blok sistem yang ditunjukkan pada gambar 1 adalah sebagai berikut:



Gambar. 1. Diagram Blok Sistem

Penjelasan gambar:

- PLN: merupakan sumber energi listrik dari perusahaan milik negara yang akan dihubungkan dengan relay MK2P sebagai *Automatic Transfer Switch* (ATS) sebelum menuju beban lampu 25W.
- Panel surya: merupakan perangkat untuk menghasilkan energi listrik yang didapat dari radiasi sinar matahari.

- SCC: merupakan perangkat yang digunakan untuk mengatur arus searah yang berasal dari panel surya untuk dapat mengisi baterai.
- Baterai: merupakan media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya.
- LVD: sebagai pemutus dan penghubung sesuai dari tegangan baterai, yang dihubungkan pada baterai dan inverter.
- Inverter: digunakan untuk mengkonversi tegangan DC pada baterai untuk dijadikan AC dan kemudian dihubungkan ke ATS sebelum ke beban lampu 25W.
- Relay MK2P (ATS): digunakan sebagai saklar otomatis untuk mengatur energi listrik antara PLN dan PLTS.
- Lampu 25W: sebagai beban untuk penggunaan energi listrik.
- Power supply: digunakan untuk memberikan sumber tegangan pada NodeMCU, sensor dan *relay*.
- Voltage sensor*: digunakan untuk membaca tegangan pada baterai. sensor ini akan dihubungkan dengan NodeMCU sebagai pengolah data yang didapat dari kinerja sensor.
- RTC: digunakan sebagai penyimpan data waktu real time.
- Sensor PZEM-004T: digunakan untuk membaca energi yang dihasilkan oleh PLTS. Sensor ini akan dihubungkan dengan NodeMCU sebagai pengolah data yang didapat dari sensor
- NodeMCU: digunakan sebagai mikrokontroler yang sudah memiliki Wi-Fi module yang bisa terkoneksi ke jaringan internet. NodeMCU menerima data dari sensor, memproses data dan mengeksekusi perintah untuk mengirimkan data ke aplikasi Blynk.
- Relay: digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan aliran listrik dari baterai ke inverter berdasarkan instruksi dari NodeMCU.
- Modem Wi-Fi: perangkat ini digunakan sebagai access point yang berfungsi sebagai penghubung antara NodeMCU dan internet agar data dapat terkirim ke Blynk pada smartphone.
- Internet: digunakan sebagai koneksi data smartphone dan NodeMCU untuk mengakses data ke Blynk.
- Aplikasi Blynk: digunakan untuk menerima data sistem melalui jaringan internet.
- Smartphone: digunakan sebagai media monitoring yang ditampilkan pada aplikasi Blynk, yang telah terinstal didalamnya.



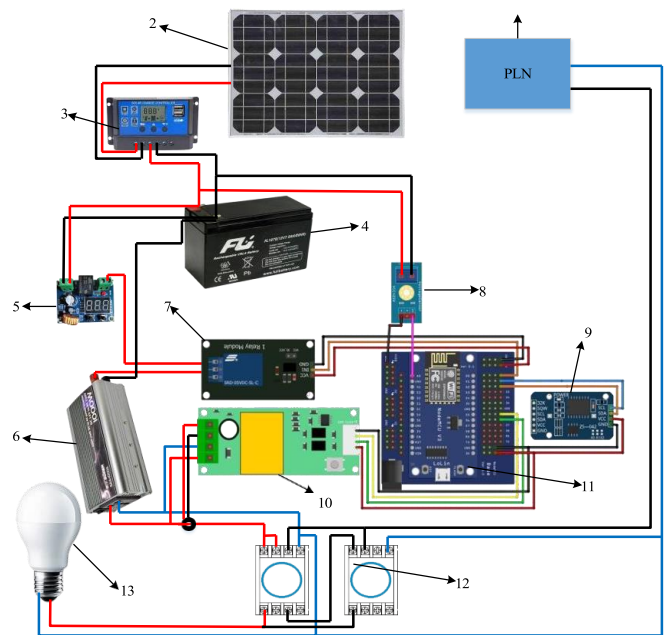
Gambar 2. Prototype sistem.

2) Sistem Elektrik

Sistem elektrik pada *off-grid hybrid power system* (PLTS-PLN) melibatkan perencanaan pengkabelan komponen-komponen secara cermat. Pada bagian input NodeMCU sebagai mikrokontroler dilengkapi dengan beberapa sensor yaitu sensor PZEM-004T, *voltage sensor*, dan RTC. Sensor-sensor ini berfungsi untuk memonitor dan mengukur berbagai parameter penting dalam sistem. Sementara itu, pada bagian output NodeMCU terdapat *relay* yang mengendalikan beban berupa lampu LED 25W. *Relay* ini digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan aliran listrik dari baterai ke inverter berdasarkan instruksi dari NodeMCU. Rancangan detail dari sistem elektrik ini dapat dilihat pada gambar 3, yang memberikan gambaran visual tentang tata letak dan pengkabelan komponen.

Penjelasan sambungan pin pada rancangan sistem elektrik pada gambar 3 adalah sebagai berikut:

- Pin output pada panel surya dihubungkan pada pin SCC untuk panel surya disesuaikan positif dengan positif dan negatif dengan negatif.
- Pin SCC untuk baterai dihubungkan dengan baterai disesuaikan positif dengan positif dan negatif dengan negatif.
- Pin Vin+ pada LVD dihubungkan kutub positif pada baterai.



Gambar 3. Pengkabelan pada sistem elektrik.

Keterangan gambar:

- Sumber PLN
 - Panel Surya
 - SCC
 - Baterai
 - LVD
 - Inverter
 - Relay 1 chanel
 - Voltage Sensor
 - RTC DS3231
 - PZEM-004T
 - NodeMCU Esp8266
 - Relay MK2P (ATS)
 - Lampu LED 25W
- Pin Vin- pada LVD dihubungkan kutub negatif pada baterai.
 - Pin Vout + pada LVD dihubungkan dengan pin input positif inverter.
 - Pin input negatif inverter dihubungkan dengan kutub negatif pada baterai.
 - Pin output fasa dari inverter akan dihubungkan dengan pin fasa input utama pada relay MK2P.
 - Pin output netral dari inverter akan dihubungkan dengan pin netral input utama pada relay MK2P.
 - Untuk fasa dari PLN dihubungkan dengan pin fasa input backup pada relay MK2P.
 - Untuk netral dari PLN dihubungkan dengan pin netral input backup pada relay MK2P.
 - Pin fasa dan netral pada output relay MK2P dihubungkan pada beban lampu LED 25W.
 - Pin D1 pada NodeMCU dihubungkan ke pin SDA modul RTC.
 - Pin D2 pada NodeMCU dihubungkan ke pin SCL modul RTC.
 - Pin pada voltage sensor Vcc dihubungkan dengan kutub positif dan Gnd dihubungkan dengan kutub negatif pada baterai.
 - Pin A0 pada NodeMCU dihubungkan ke pin S pada

voltage sensor.

- p. Pin D0 pada NodeMCU dihubungkan ke pin input relay.
- q. Pin common dan NO pada *relay* dihubungkan dengan kabel antara LVD dan inverter untuk dari setelah LVD dihubungkan pin common dan sebelum inverter dihubungkan dengan pin NO.
- r. Pin D6 pada NodeMCU dihubungkan ke pin Tx pada sensor PZEM-004T.
- s. Pin D5 pada NodeMCU dihubungkan ke pin Rx pada sensor PZEM-004T.
- t. Pin L pada sensor PZEM-004T dihubungkan dengan kabel fasa output dari inverter.
- u. Pin N pada sensor PZEM-004T dihubungkan dengan kabel netral output dari inverter.
- v. 2 pin *Current Transformer* (CT) pada sensor PZEM-004T dihubungkan dengan kabel fasa output dari inverter.
- w. Pin Vcc pada NodeMCU dihubungkan ke Vcc relay, RTC, dan PZEM-004T.
- x. Pin G pada NodeMCU dihubungkan ke G pada relay, RTC, PZEM-004T dan ke pin negatif (-) pada *voltage sensor*.

3) Software Sistem

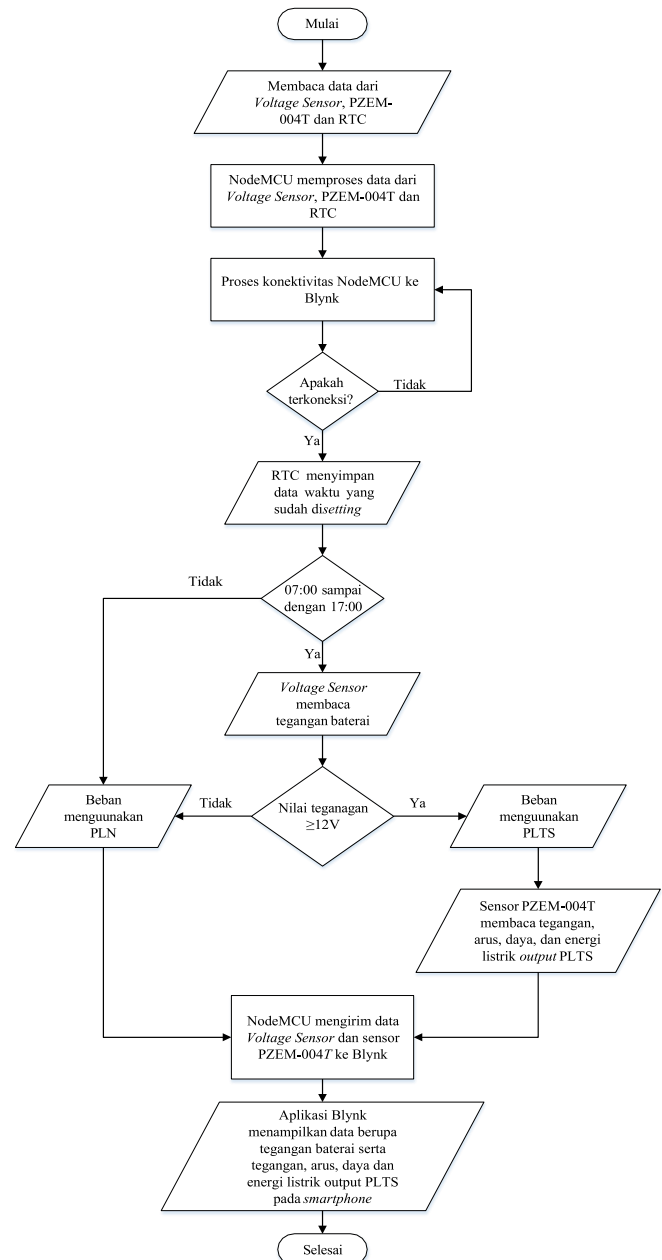
Pengembangan *software* untuk sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang merupakan bahasa tingkat tinggi yang didasarkan pada wiring, dan merupakan platform pemrograman elektronik *open-source*. Bahasa ini mirip dengan C/C++ dan dirancang untuk memudahkan pengembangan aplikasi interaktif pada platform mikrokontroler Arduino. Dengan menggunakan Arduino *Integrated Development Environment* (IDE), pengguna dapat menulis, mengedit, dan mengunggah kode ke board Arduino atau mikrokontroler lainnya yang kompatibel. Bahasa pemrograman Arduino menyederhanakan banyak aspek pemrograman mikrokontroler, seperti pengendalian pin input/output, pembacaan sensor, dan komunikasi serial. Kode program (sketch) yang dikembangkan digunakan untuk menjalankan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN. Dalam pengembangan *software* ini diperlukan flowchart yang menjelaskan cara kerja sistem, bisa dilihat pada gambar 4.

Tahap-tahap dari *flowchart* pengembangan *software* sebagai berikut:

- a. Membaca data dari sensor PZEM-004T, *voltage sensor* dan RTC: pada tahapan ini NodeMCU akan membaca data dari sensor PZEM-004T yang dapat membaca arus, tegangan, daya serta kWh, *voltage sensor* membaca tegangan pada baterai dan RTC

akan menyimpan data berupa waktu.

- b. NodeMCU memproses data sensor: pada tahapan ini NodeMCU akan melakukan pemrosesan terhadap data yang dibaca oleh sensor PZEM-004T, *voltage sensor* dan RTC.



Gambar. 4. Flowchart Pengembangan Software

- c. Proses penghubungan NodeMCU ke Blynk: pada tahap ini NodeMCU dan Blynk dihubungkan ke jaringan internet apakah terkoneksi? Jika ya maka berlanjut ke tahap selanjutnya yaitu pengiriman data sensor ke Blynk, jika tidak maka akan kembali untuk mengulang konektivitas NodeMCU dan Blynk.
- d. RTC menyimpan data waktu yang sudah disetting: pada tahap ini akan menyimpan data waktu jika waktu menunjukkan 07:00 sampai 17:00 maka beban akan menggunakan PLTS jika waktu diluar yang

- ditentukan maka beban akan menggunakan PLN.
- Modul *voltage sensor* membaca tegangan baterai: pada tahapan ini sensor akan membaca tegangan pada baterai $\geq 12V$ jika iya maka beban akan menggunakan PLTS dan jika tidak beban akan menggunakan PLN.
 - Sensor PZEM-004T membaca arus, tegangan, daya dan kWh: pada tahap ini sensor akan mendapatkan data berupa nilai arus, tegangan, daya, serta energi untuk kemudian akan diproses NodeMCU untuk dapat dikirimkan ke Blynk.
 - NodeMCU mengirim data sensor ke Blynk: pada tahap ini hasil pemrosesan yang dilakukan NodeMCU dari perolehan sensor akan dikirimkan pada aplikasi Blynk.
 - Aplikasi Blynk akan menampilkan data berupa tegangan baterai dan tegangan, arus, daya, energi keluaran inverter pada *smartphone*: pada tahap ini aplikasi Blynk akan menampilkan perolehan data dari sensor yang sudah di proses oleh NodeMCU pada *smartphone*.



Gambar. 5. Interface sistem pada aplikasi Blynk di *smartphone*.

Platform IoT yang digunakan pada sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN adalah Blynk. Dengan aplikasi Blynk yang diinstal pada *smartphone* dapat memantau nilai tegangan, arus, daya dan energi listrik yang dihasilkan PLTS yang sudah dirubah menjadi *Alternating Current* (AC) menggunakan inverter, serta memantau tegangan pada baterai yang digunakan sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan panel surya dalam bentuk tegangan *Direct*

Current (DC). Interface sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN dapat dilihat pada gambar 5.

4) Keandalan Sistem

Keandalan sistem dalam *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN berbasis IoT menjadi faktor utama dalam memastikan kontinuitas pasokan listrik yang stabil dan efisien. Sistem ini dirancang untuk beroperasi dalam kondisi lingkungan yang bervariasi, dengan berbagai tantangan teknis seperti perubahan cuaca, fluktuasi beban, dan ketersediaan daya yang tidak menentu dari sumber energi surya. Oleh karena itu, langkah-langkah strategis diterapkan untuk meningkatkan ketahanan sistem, termasuk penerapan redundansi daya. Dalam sistem ini, baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi utama, yang akan digunakan ketika panel surya tidak menghasilkan daya yang cukup. Namun, baterai memiliki keterbatasan dalam kapasitas penyimpanan dan masa pakai, sehingga pengelolaan yang optimal sangat diperlukan. LVD digunakan untuk mencegah pemakaian baterai yang berlebihan dengan memutus aliran listrik ke beban ketika tegangan mencapai batas minimum. Hal ini tidak hanya memperpanjang umur baterai tetapi juga memastikan sistem tetap dapat menyediakan daya secara berkelanjutan. Selain itu, integrasi dengan jaringan PLN melalui ATS memungkinkan perpindahan sumber daya secara otomatis ketika daya dari baterai tidak mencukupi. Dengan mekanisme ini, keandalan sistem tetap terjaga tanpa mengganggu operasional perangkat yang terhubung ke jaringan listrik.

Selain pengelolaan sumber daya, pemantauan real-time memainkan peran penting dalam menjaga keandalan sistem. Sistem monitoring berbasis IoT yang diterapkan dalam penelitian ini memungkinkan pengguna untuk mendapatkan informasi secara langsung melalui aplikasi Blynk. NodeMCU berfungsi sebagai pusat kontrol yang mengolah data dari berbagai sensor, seperti PZEM-004T untuk pemantauan daya dan *voltage sensor* untuk tegangan baterai. Data ini dikirimkan melalui koneksi internet ke platform Blynk, di mana pengguna dapat melihat kondisi sistem secara *real-time* dan menerima notifikasi ketika terjadi anomali. Misalnya, jika tegangan baterai turun ke ambang batas kritis, sistem akan secara otomatis memberikan peringatan kepada pengguna untuk mengambil tindakan yang diperlukan. Pemantauan berkelanjutan ini memungkinkan deteksi dini terhadap potensi kegagalan sistem, sehingga tindakan preventif dapat diambil sebelum terjadi gangguan yang lebih besar. Selain itu, dengan adanya data historis yang tersimpan di aplikasi, pengguna dapat menganalisis pola penggunaan energi dan

mengoptimalkan konfigurasi sistem sesuai dengan kebutuhan aktual. Dengan demikian, pemantauan real-time tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem tetapi juga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih akurat terkait dengan pengelolaan energi.

Keandalan sistem juga ditingkatkan melalui serangkaian pengujian beban dan daya tahan komponen. Pengujian ini dilakukan dengan mensimulasikan berbagai skenario penggunaan energi untuk mengevaluasi performa sistem dalam kondisi ekstrem. Salah satu metode yang digunakan adalah pengujian beban maksimum, di mana sistem dioperasikan pada kapasitas tertinggi untuk mengetahui batas aman operasionalnya. Selain itu, pengujian durabilitas komponen dilakukan dengan mengoperasikan sistem dalam jangka waktu yang lama guna mengidentifikasi kemungkinan degradasi pada baterai, inverter, serta komponen lainnya. Faktor lingkungan juga diperhitungkan dalam pengujian, mengingat sistem ini beroperasi dalam kondisi luar ruangan yang bisa memengaruhi performa perangkat keras. Dengan serangkaian pengujian ini, kelemahan dalam desain dapat diidentifikasi dan diperbaiki sebelum sistem digunakan dalam skala yang lebih luas. Keandalan sistem yang tinggi akan memastikan bahwa pengguna dapat mengandalkan sistem ini untuk menyediakan daya yang stabil, efisien, dan berkelanjutan, bahkan dalam kondisi yang menantang. Dengan kombinasi manajemen energi yang optimal, pemantauan real-time, serta pengujian ketahanan yang ketat, sistem kontrol dan monitoring *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN dapat memberikan solusi yang andal dan efektif bagi kebutuhan energi berbasis energi terbarukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengujian terhadap sistem kontrol dan monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang diterapkan pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN selama periode 72 jam. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengalihkan sumber daya listrik secara otomatis antara PLTS dan PLN berdasarkan dua parameter utama, yaitu tegangan baterai dan waktu operasional. Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk mengukur kualitas layanan (*Quality of Service/QoS*) sistem melalui analisis parameter *delay* atau waktu tunda transmisi data. Hasil pengujian dirangkum dalam Tabel II yang menampilkan data waktu, kondisi cuaca, tegangan baterai, jenis sumber energi aktif, serta parameter kelistrikan dari PLTS. Tabel ini menggambarkan respons sistem terhadap perubahan kondisi tegangan dan waktu, yang menjadi dasar dalam menilai keandalan logika kontrol yang tertanam pada

mikrokontroler untuk perpindahan beban secara otomatis dan efisien.

TABEL II
Hasil Pengujian Kinerja Sistem Kontrol Perpindahan Sumber Energi

No.	Tanggal Pengambilan Data	Waktu (WIB)	Kondisi Cuaca	Tegangan Baterai (V)	Grid PLTS / PLN	Arus output PLTS (A)	Tegangan output PLTS (V)	Daya output PLTS (W)	Supply Energi Listrik Beban dari PLTS (kWh)	Supply Energi Listrik Beban dari PLN (kWh)
1	8 Juli 2024	12:10	Cerah	12,4	PLTS	0,129	230,6	26,1	0	0
2	8 Juli 2024	15:16	Cerah	11,9	PLN	0,094	232,4	20,7	0,032	0,028
3	8 Juli 2024	17:40	Cerah	12,3	PLN	0,127	230	23,2	0,037	0,056
4	9 Juli 2024	09:02	Cerah	12,1	PLTS	0,119	230,3	20,3	0,044	0,382
5	9 Juli 2024	12:10	Berawan	12,2	PLTS	0,104	231,7	26,1	0,056	0,414
6	9 Juli 2024	14:02	Berawan	12,2	PLTS	0,114	232,4	21,4	0,065	0,457
7	9 Juli 2024	16:13	Berawan	11,9	PLN	0,092	229,7	19	0,072	0,509
8	9 Juli 2024	17:06	Berawan	12,3	PLN	0,128	231,1	21,5	0,072	0,528
9	10 Juli 2024	08:04	Cerah	12,1	PLTS	0,109	233,3	23,2	0,073	0,838
10	10 Juli 2024	09:46	Berawan	11,9	PLN	0,097	232,6	19,7	0,080	0,869
11	10 Juli 2024	12:10	Berawan	12,3	PLTS	0,123	229,9	25	0,088	0,907
12	10 Juli 2024	15:12	Berawan	11,9	PLN	0,098	233,5	17,4	0,098	0,949
13	10 Juli 2024	17:04	Cerah	12,2	PLN	0,102	233,1	23	0,010	0,986
14	11 Juli 2024	09:08	Cerah	12,2	PLTS	0,118	235,2	20,5	0,109	1,325
15	11 Juli 2024	12:10	Cerah	12,3	PLTS	0,128	231,2	26	0,126	1,348

Berdasarkan data yang dikumpulkan, pola perpindahan sumber daya menunjukkan bahwa pada pukul 07:00 - 17:00 WIB, beban memperoleh pasokan energi dari PLTS selama tegangan baterai berada di atas atau sama dengan 12V. Jika tegangan baterai turun di bawah 12V dalam rentang waktu tersebut, sistem akan otomatis mengalihkan suplai ke PLN. Di luar waktu tersebut (pukul 17:01 - 06:59 WIB), beban sepenuhnya disuplai oleh PLN, tanpa memperhatikan tegangan baterai. Selama periode pengujian, total energi yang disuplai oleh PLTS tercatat sebesar 0,126 kWh, sementara energi dari PLN sebesar 1,348 kWh.

TABEL III
Rekapitulasi Energi Listrik dari PLTS dan PLN selama 72 Jam

No.	Sumber Energi	Total Energi (kWh)
1	PLTS	0,126
2	PLN	1,348

Pola perpindahan sumber daya ini terjadi sesuai dengan logika program mikrokontroler NodeMCU yang menggabungkan dua parameter kontrol: waktu dan tegangan baterai. Pada siang hari, PLTS digunakan sebagai sumber utama karena tersedia energi matahari yang cukup untuk mengisi baterai. Ketika tegangan baterai $\geq 12V$, sistem mengutamakan penggunaan energi dari PLTS untuk efisiensi dan pengurangan

ketergantungan pada PLN. Namun, jika tegangan turun di bawah ambang batas tersebut, sistem segera beralih ke PLN untuk mencegah kerusakan baterai akibat *overdischarge*. Penggunaan PLN sepenuhnya pada malam hari bertujuan menjamin kontinuitas daya karena PLTS tidak dapat menghasilkan listrik saat tidak ada radiasi matahari. Nilai *delay* yang rendah dicapai berkat penggunaan sensor digital dan jaringan internet stabil, sehingga transmisi data berlangsung cepat dan efisien. Data *delay* sistem pada tabel IV menunjukkan bahwa rata-rata waktu tunda transmisi data dari sensor ke platform Blynk adalah sebesar 6,012231 ms, jauh di bawah ambang batas 150 ms menurut standar TIPHON, yang berarti sistem memiliki kinerja sangat baik dalam hal keterlambatan.

TABEL IV
Hasil Pengukuran *Delay* pada Sistem Kontrol dan Monitoring Berbasis IoT pada *Off-Grid Hybrid Power System* PLTS-PLN

No.	<i>Delay</i> 1 (s)	<i>Delay</i> 2 (s)	<i>Delay</i> (s)
1	0	0,039194	0,039194
2	0,039194	0,039295	0,000101
3	0,039295	0,039812	0,000517
4	0,039812	0,174907	0,135095
5	0,174907	0,292556	0,117649
6	0,292556	0,292556	0
7	0,292556	0,292556	0
8	0,292556	0,292605	0,000049
9	0,292605	0,292646	0,000041
10	0,292646	0,292701	0,000055
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
3702	22,09103	22,26329	0,172261
3703	22,26329		
Total <i>delay</i>			22,26329
Rata-rata <i>delay</i>			0,006012

Dibandingkan dengan penelitian [5], sistem pada penelitian ini lebih unggul karena tidak hanya mengandalkan PLTS, tetapi juga mengintegrasikan PLN sebagai sumber cadangan secara otomatis, sehingga mampu menjaga kontinuitas pasokan listrik saat PLTS tidak mencukupi. Berbeda dengan studi [6] yang menggunakan LVD untuk *switching* berdasarkan tegangan, sistem ini menambahkan parameter waktu dengan dukungan RTC sehingga perpindahan energi lebih adaptif dan fleksibel. Selain itu, sistem monitoring pada penelitian [4] hanya menampilkan arus dan tegangan secara *real-time*, sedangkan dalam penelitian ini, pemantauan mencakup parameter daya dan energi (kWh) secara komprehensif melalui sensor PZEM-004T, serta ditampilkan pada *platform* Blynk yang dapat diakses kapan pun oleh pengguna. Dengan

demikian, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memberikan solusi lebih menyeluruh baik dari sisi kontrol maupun monitoring dibandingkan pendekatan-pendekatan sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol dan monitoring berbasis IoT pada *off-grid hybrid power system* PLTS-PLN dengan pengalihan sumber daya otomatis berdasarkan tegangan baterai dan waktu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengalihkan beban secara otomatis dari PLTS ke PLN ketika tegangan baterai turun di bawah 12V dan kembali ke PLTS jika tegangan kembali mencukupi, sesuai logika yang diprogram dalam mikrokontroler. Selain itu, sistem secara konsisten menggunakan PLN sebagai sumber utama di luar waktu siang (pukul 17:01 - 06:59 WIB), untuk memastikan pasokan daya tetap tersedia. Pemantauan *real-time* berjalan baik dengan *delay* rata-rata hanya 6,012231 ms, jauh di bawah standar TIPHON (<150 ms), yang menunjukkan sistem responsif dan stabil.

Sistem ini memiliki signifikansi dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya serta memperluas akses listrik berbasis energi terbarukan, khususnya di wilayah yang belum sepenuhnya terjangkau jaringan PLN.

Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengintegrasikan sistem dengan manajemen beban cerdas dan peningkatan kapasitas baterai guna mengurangi ketergantungan pada PLN di malam hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada teman-teman dan kolega di Laboratorium Jaringan Telekomunikasi Multimedia dan Sistem Kontrol Program Studi Teknik Elektro Universitas Qomaruddin atas segala dukungan dan support yang diberikan pada penelitian ini.

REFERENSI

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. W. Suriana dan I. W. Sugarayasa, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Pembangkit Hybrid (PLN-Solar Cell) Berbasis Wemos D1 Mini Esp8266," *Jurnal Riset Teknologi dan Inovasi Pendidikan*, vol. 5, no. 2, hlm. 93–104, 2022.
- [2] B. Rudiyanto, R. Entikaria Rachmanita, dan A. Budi-prasojo, *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. Unisma Press, 2023.
- [3] L. Halim, "Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS On Grid dan Off Grid di Indonesia," *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Nov 2022, doi: 10.24853/resistor.5.2.131-136.

- [4] D. Erwanto, D. A. W. K, dan T. Sugiarto, "Sistem Pemantauan Arus dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things," *MULTITEK INDONESIA*, vol. 14, no. 1, Art. no. 1, Agu 2020.
- [5] D. Herliyanso dan O. A. Rozak, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-grid Sebagai Suplai Daya Listrik Perpustakaan Universitas Pamulang," *Electrices*, vol. 5, no. 1, hlm. 20–29, Mei 2023, doi: 10.32722/ees.v5i1.5612.
- [6] L. M. Hayusman, "Studi Perencanaan Panel Kendali PLTS-PLN Berdasarkan Kapasitas Baterai Untuk PLTS Off-Grid," *JST (Jurnal Sains Terapan)*, vol. 8, no. 1, Art. no. 1, Okt 2022, doi: 10.32487/jst.v8i1.1425.
- [7] F. Fadilah, S. Sofiah, dan A. Rikardo, "Analisis Kerja LVD (Low Voltage Disconnect) Multisistem Pada Akumulator 12 Volt Pada Panel Surya," *JURNAL SURYA ENERGY*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Okt 2023, doi: 10.32502/jse.v7i2.5757.
- [8] D. Sawitri, "Internet of Things Memasuki Era Society 5.0," *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, vol. 8, no. 1, Art. no. 1, Mei 2023, doi: 10.24815/kitektro.v8i1.28578.
- [9] Y. Mahaseng, M. Masarrang, Y. Arifin, M. Mustofa, dan S. Dewi, "Rancang Bangun Panel Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Photovoltaic," *Foristek*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Jun 2022, doi: 10.54757/fs.v12i1.140.
- [10] O. E. Olabode, T. O. Ajewole, I. K. Okakwu, A. S. Alayande, dan D. O. Akinyele, "Hybrid Power Systems for Off-Grid Locations: A Comprehensive Review of Design Technologies, Applications and Future Trends," *Scientific African*, vol. 13, hlm. e00884, Sep 2021, doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00884.
- [11] E. I. Come Zebra, H. J. Van Der Windt, G. Nhumaio, dan A. P. C. Faaij, "A Review of Hybrid Renewable Energy Systems in Mini-Grids for Off-Grid Electrification in Developing Countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, hlm. 111036, Jul 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111036.
- [12] M. Berka, A. Bendaoudi, K. Benkhallouk, Z. Mahdjoub, dan A. Y. Rouabhi, "The Emergence of Digital Metasurfaces: A New Technology for Enhancing Photovoltaic Systems," dalam *Performance Enhancement and Control of Photovoltaic Systems*, Elsevier, 2024, hlm. 235–258. doi: 10.1016/B978-0-443-13392-3.00013-X.
- [13] N. Salsabila dan S. I. Haryudo, "Sistem Kontrol dan Monitoring Automatic Transfer Switch (ATS) Model Hybrid Berbasis Internet of Things," *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Jul 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i2.1119.
- [14] H. Darmono, K. Koesmarijanto, dan F. R. Naufal, "Monitoring of Voltage and Load Current Integration of Solar Panels with Electric Grids Android-Based," *Jartel*, vol. 12, no. 3, hlm. 128–131, Sep 2022, doi: 10.33795/jartel.v12i3.345.
- [15] M. A. surya Antara dan W. A. Suteja, "Analisis Arus, Tegangan, Daya, Energi, dan Biaya pada Sensor PZEM-004T Berbasis Nodemcu ESP8266," *Patria Artha Technological Journal*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Apr 2021, doi: 10.33857/patj.v5i1.405.
- [16] I. D. G. D. Pranata, I. G. S. Widharma, dan I. K. Parti, "Monitoring Automatic Transfer Switch Pada Sistem Hybrid PLTS Dengan Listrik PLN Sebagai Sumber Energi Pompa Kolam Ikan Berbasis Internet Of Things (IoT)," undergraduate, Politeknik Negeri Bali, 2022. Diakses: 13 Mei 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.pnb.ac.id/2804/>
- [17] A. Stefanie dan F. C. Suci, "Analisis Performansi PLTS Off-Grid 600 Wp menggunakan Data Akuisisi berbasis Internet of Things," *ELKOMIKA*, vol. 9, no. 4, hlm. 761, Okt 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i4.761.
- [18] M. Junus, S. Wirayoga, dan Adzikirani, "System Design Renewable Energy Using Applications Bright Energy Solar Meter Panel Based on The Internet of Things," dalam *Proceedings of the 5th Annual Advanced Technology, Applied Science, and Engineering Conference (ATASEC) 2023*, vol. 229, R. Andrie Asmara, A. Nugroho Pramudhita, V. Nur Wijayaningrum, M. Shulhan Khairy, I. Siradjuddin, S. Enggar Sukmana, dan A. Rachmad Syulistyo, Ed., dalam *Advances in Engineering Research*, vol. 229, Dordrecht: Atlantis Press International BV, 2023, hlm. 89–101. doi: 10.2991/978-94-6463-358-0_10.
- [19] A. Ramschie, R. Katuuk, dan S. Eksan, "IoT Implementation for Monitoring and Controlling Solar Power Plant Systems," *IJCA*, vol. 185, no. 37, hlm. 23–31, Okt 2023, doi: 10.5120/ijca2023923177.
- [20] S. W. Ibrahim, M. Nizam, A. Ramelan, A. S. Nugroho, dan S. Putri, "Development of Solar Power Plant to Support Smart Farming 4.0 at Hubbul Khoir Islamic Boarding School Indonesia," *Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Nov 2023, doi: 10.20961/jeeict.5.2.77435.
- [21] F. S. Utama, S. Siswanto, dan I. Kanedi, "Analisis QoS (Quality of Services) Jaringan Internet Berbasis Wireless Telkom Indihome pada Kantor Walikota Bengkulu," *JURNAL MEDIA INFOTAMA*, vol. 20, no. 1, hlm. 34–43, Apr 2024, doi: 10.37676/jmi.v20i1.5320.