

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN BAYU BERBASIS INTERNET OF THINGS

Adi Fauzul Kurniawan^{1*}, Isac Ilham Akbar Habibi², Septriandi Wirayoga³

^{1,2,3}Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 Jatimulyo, Lowokwaru, Malang, 65141, Telp. (0341) 404424 - 404425, Fax (0341) 404420

Keywords:

PZEM-004T, PZEM-017, energy monitoring.

Correspondent Email:

adifauzul.djakam@gmail.com

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu (*Hybrid*) merupakan salah satu solusi strategis untuk mendukung kemandirian energi skala kecil, khususnya di daerah yang membutuhkan suplai listrik mandiri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* berbasis PZEM-004T dan PZEM-017 dengan mengintegrasikan teknologi IoT secara efektif dan efisien serta mengevaluasi kinerja sistem *monitoring* dan IoT yang dikembangkan dari segi keakuratan data, keandalan komunikasi, serta data *cloud* bagi operator sistem di Warung Kopi Gus Kulon. Metode yang digunakan adalah observasi langsung di lapangan untuk memantau kondisi aktual sistem pembangkit listrik tenaga Surya dan Bayu yang terdiri dari panel surya dan generator DC. Penelitian ini berhasil merancang dan merealisasikan sistem monitoring pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu (PLTH) di Warung Kopi Gus Kulon dengan memanfaatkan sensor PZEM-004T dan PZEM-017. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu bekerja stabil dan mendukung pemantauan kondisi PLTH secara menyeluruh.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. Solar and Wind Power Plant (*Hybrid*) is one of the strategic solutions to support small-scale energy independence, especially in areas that require independent electricity supply. This study aims to design and implement a monitoring system based on PZEM-004T and PZEM-017 by integrating IoT technology effectively and efficiently and evaluating the performance of the developed monitoring and IoT system in terms of data accuracy, communication reliability, and cloud data for system operators at Warung Kopi Gus Kulon. The method used is direct observation in the field to monitor the actual condition of the Solar and Wind Power Plant system consisting of solar panels and DC generators. This study successfully designed and realized a monitoring system on the Solar and Wind Power Plant (PLTH) at Warung Kopi Gus Kulon by utilizing the PZEM-004T and PZEM-017 sensors. The test results show that the system is able to work stably and supports comprehensive monitoring of the PLTH condition.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan menjadi kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas masyarakat, termasuk pada sektor usaha kecil seperti warung kopi. Warung Kopi Gus Kulon merupakan salah satu tempat usaha yang sebelumnya telah mengimplementasikan sistem pembangkit

listrik tenaga surya dan bayu (*hybrid*) sebagai sumber energi alternatif. Hal ini menyebabkan ketidakpastian dalam pasokan energi serta potensi kerusakan sistem yang tidak terdeteksi sejak dini[1].

Sistem ini juga telah dilengkapi dengan perangkat-perangkat seperti *solar charge controller*, baterai 24V, dan *inverter* 2000W

untuk mengonversi dan mendistribusikan daya ke beban, namun system tersebut belum terintegrasi dengan *Internet of Things* sehingga pengawasan terhadap parameter secara manual atau bahkan tidak sama sekali. Kurangnya pengawasan ini mengakibatkan menurunnya efisiensi dan keamanan sistem pembangkit.

Dalam penelitian ini akan dikembangkan sistem *monitoring* dan proteksi berbasis IoT yang terintegrasi pada sistem tersebut. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 diprogram melalui Arduino IDE serta dilengkapi sensor PZEM-004T dan PZEM-017 untuk memantau parameter listrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *monitoring* berbasis PZEM-004T dan PZEM-017 dengan mengintegrasikan teknologi IoT secara efektif dan efisien serta mengevaluasi kinerja sistem *monitoring* dan IoT yang dikembangkan dari segi keakuratan data, keandalan komunikasi, serta data *cloud* bagi operator sistem di Warung Kopi Gus Kulon.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit energi listrik yang memanfaatkan energi cahaya matahari sebagai sumber energi utama. Rangkaian dari sel surya ini kemudian dirangkai membentuk modul atau panel surya agar dapat menghasilkan daya yang lebih besar dan stabil[2]. *Solar cell* atau sel surya merupakan perangkat semikonduktor yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui prinsip *photovoltaic*. Medan listrik internal pada *junction* p-n akan mendorong elektron bergerak ke arah lapisan tipe-n dan *hole* ke arah lapisan tipe-p, menciptakan arus listrik searah (DC) saat rangkaian eksternal terhubung[3].

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari angin untuk diubah menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan umumnya adalah generator sinkron atau asinkron yang disesuaikan dengan kebutuhan daya dan karakteristik sistem[4]. Generator arus searah (DC) merupakan perangkat elektromekanis yang berfungsi

mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus searah.

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

Sistem pembangkit listrik hibrida merupakan kombinasi dari dua atau lebih sumber energi yang berbeda, yang dirancang untuk saling melengkapi guna menghasilkan suplai daya yang lebih andal dan efisien. Gabungan antara PLTS dan PLTB memberikan keunggulan dari sisi kontinuitas pasokan energi. PLTS bekerja optimal pada siang hari saat intensitas sinar matahari tinggi, sementara PLTB dapat tetap beroperasi pada malam hari atau saat kondisi berawan selama masih terdapat hembusan angin[5].

2.4. Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul sensor listrik digital yang dirancang untuk memantau berbagai parameter kelistrikan pada sistem arus bolak-balik (AC), seperti tegangan (Volt), arus (Ampere), daya aktif (Watt), energi (kWh), frekuensi, dan faktor daya (*power factor*). Modul ini juga mendukung komunikasi digital melalui antarmuka UART, sehingga memudahkan integrasi dengan berbagai mikrokontroler seperti ESP32[6].

2.5. Sensor PZEM-017

PZEM-017 adalah modul sensor digital yang digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan pada sistem arus searah (DC), seperti tegangan (Volt), arus (Ampere), daya (Watt), dan energi (Wh). Modul ini memiliki keunggulan berupa kemampuan pengukuran arus hingga 300A (tergantung model *shunt* eksternal yang digunakan), serta mendukung komunikasi melalui protokol Modbus RTU menggunakan antarmuka RS485, yang memungkinkan transmisi data jarak jauh dan andal dalam sistem *monitoring* berbasis mikrokontroler[7].

2.6. ESP 32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis sistem-on-chip (*System on Chip/SoC*) yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dirancang untuk aplikasi dengan kebutuhan konektivitas tinggi dan konsumsi daya rendah. Hal ini menjadikan ESP32 sangat populer dalam pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT), karena mampu terhubung langsung dengan

jaringan lokal maupun internet tanpa membutuhkan modul tambahan[8].

2.7. LCD 20x4

LCD (*Liquid Crystal Display*) 20x4 adalah modul tampilan berbasis karakter yang mampu menampilkan hingga 20 karakter dalam 4 baris. Penggunaan antarmuka I2C memungkinkan pengurangan jumlah pin yang digunakan, sehingga lebih efisien dalam desain sistem yang memiliki keterbatasan jumlah pin *input/output*[9].

2.8. Maximum Power Point Tracking

MPPT adalah sebuah metode atau teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran dari sistem panel surya. Tanpa MPPT, sistem panel surya mungkin tidak menghasilkan daya maksimal karena perbedaan karakteristik antara panel dan beban[10].

2.9. Solar Charge Controller

SCC adalah perangkat elektronik yang berfungsi mengatur aliran energi listrik dari panel surya menuju baterai. Tanpa SCC, sistem pembangkit tenaga surya berisiko mengalami kerusakan pada baterai, penurunan efisiensi penyimpanan energi, bahkan potensi bahaya keselamatan seperti panas berlebih atau kebakaran akibat pengisian yang tidak terkendali[11].

2.10. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik rumah tangga atau industri. Energi listrik yang disimpan dalam baterai atau yang dihasilkan langsung dari panel surya umumnya berupa arus DC, sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu agar dapat digunakan oleh peralatan listrik konvensional[10].

2.11. Fuse

Fuse atau sekering merupakan perangkat proteksi arus yang berfungsi sebagai pengaman pada sistem kelistrikan terhadap potensi kerusakan akibat arus lebih (*overcurrent*). Fuse bekerja berdasarkan prinsip termal, di mana elemen logam di dalamnya akan meleleh dan memutuskan aliran listrik jika arus yang mengalir melebihi batas tertentu[12]. Dengan demikian,

fuse mampu menghentikan aliran listrik secara otomatis dan cepat untuk mencegah kerusakan pada komponen lain atau risiko kebakaran.

2.12. Baterai

Baterai merupakan komponen penting dalam sistem pembangkit listrik terbarukan yang berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dari sumber utama seperti panel surya (PLTS) atau turbin angin (PLTB), sehingga energi tersebut dapat digunakan saat pasokan utama tidak tersedia. Umumnya, jenis baterai yang digunakan dalam sistem ini adalah baterai timbal-asam (*lead-acid*) atau *lithium-ion*, yang memiliki karakteristik berbeda dalam hal kapasitas, efisiensi, dan daya tahan [26].

2.13. Mini Circuit Breaker

Mini Circuit Breaker (MCB) merupakan perangkat pengaman listrik otomatis yang berfungsi untuk memutuskan aliran listrik ketika terjadi kelebihan arus (*overcurrent*) atau hubung singkat (*short circuit*) pada suatu rangkaian. Dalam sistem pembangkit listrik hibrida, MCB berperan penting dalam menjaga keamanan dan keandalan instalasi listrik secara menyeluruh[13].

2.14. Automatic Transfer Switch

Automatic Transfer Switch (ATS) merupakan perangkat saklar otomatis yang berfungsi untuk mengalihkan sambungan beban listrik dari satu sumber daya ke sumber daya lainnya secara mandiri tanpa memerlukan intervensi manual. ATS berperan penting dalam menjamin kontinuitas pasokan energi terhadap beban, khususnya apabila sumber utama mengalami gangguan, seperti penurunan tegangan akibat cuaca buruk, malam hari, atau kondisi ketidaktersediaan energi pada baterai penyimpanan[14].

2.15. Converter AC-DC

Rangkaian elektronik yang berfungsi mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC), yang sangat penting dalam berbagai sistem elektronika dan kelistrikan. Tegangan DC keluaran *converter* kemudian dibaca oleh mikrokontroler ESP32 sebagai indikator aktifnya salah satu sumber daya, sehingga memungkinkan sistem melakukan pemantauan *real-time* terhadap status perpindahan beban listrik[15].

2.16. Internet Of Things

Internet of Things (IoT) merupakan konsep pengembangan teknologi yang memungkinkan perangkat fisik terhubung ke internet dan saling bertukar data tanpa interaksi manusia secara langsung. Dengan kemampuan ini, IoT telah menjadi solusi penting dalam berbagai bidang seperti industri, pertanian, kesehatan, hingga sistem kelistrikan, karena memberikan kemudahan dalam pemantauan dan pengendalian perangkat dari jarak jauh[16].

2.17. Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (IDE) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode program ke mikrokontroler, termasuk ESP32. Keunggulan Arduino IDE terletak pada antarmuka pengguna yang sederhana, ketersediaan pustaka yang luas, serta kompatibilitasnya dengan berbagai jenis *board* mikrokontroler, sehingga menjadikannya pilihan utama dalam pengembangan prototipe sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT[17].

2.18. Firebase

Firebase merupakan layanan berbasis *cloud* dari Google yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, dan menyinkronkan data secara efisien ke berbagai perangkat yang terhubung. Keunggulan *Firebase* terletak pada kemampuannya memperbarui data secara otomatis tanpa *polling* berulang, mendukung sistem *monitoring* dengan jeda waktu tertentu, serta menyediakan autentikasi pengguna, keamanan data, dan skalabilitas tinggi[18].

2.19. Thunkable

Thunkable adalah *platform* pengembangan aplikasi berbasis antarmuka grafis (*drag-and-drop*) yang memungkinkan pengguna untuk membuat aplikasi Android dan iOS tanpa harus menulis kode secara manual. Dalam penelitian ini, *Thunkable* digunakan untuk merancang dan membangun aplikasi *monitoring* yang dapat menampilkan data dari *Firebase* secara *real-time* kepada pengguna[19].

3. METODE PENELITIAN

Metode observasi digunakan untuk memantau kondisi aktual sistem pembangkit listrik tenaga Surya dan Bayu yang terdiri dari

panel surya dan generator DC. Selain itu, wawancara dengan pihak pengelola Warung Kopi Gus Kulon dilakukan guna memperoleh informasi tambahan mengenai pola penggunaan energi, permasalahan yang sering muncul, serta kebutuhan akan sistem *monitoring*. Dokumentasi juga dimanfaatkan untuk merekam kondisi instalasi, spesifikasi perangkat, dan konfigurasi sistem yang telah terpasang. Seluruh data ini menjadi dasar dalam proses pengembangan dan pengujian sistem *monitoring* berbasis IoT. Data yang terkumpul kemudian di kategorikan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari pembacaan sensor PZEM-004T dan PZEM-017 mengukur tegangan, arus, dan daya pada masing-masing sumber energi.

3.1. Alat dan Bahan

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor PZEM-004T dan 017, ESP 32 dan perangkat keras lainnya serta alat pendukung pengolahan data yang digunakan laptop dan alat pendukung lainnya.

3.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap dengan tujuan untuk menghasilkan sistem *monitoring* dan pengendalian yang terintegrasi pada pembangkit listrik tenaga surya dan bayu yang digunakan sebagai sumber energi utama di Warung Kopi Gus Kulon

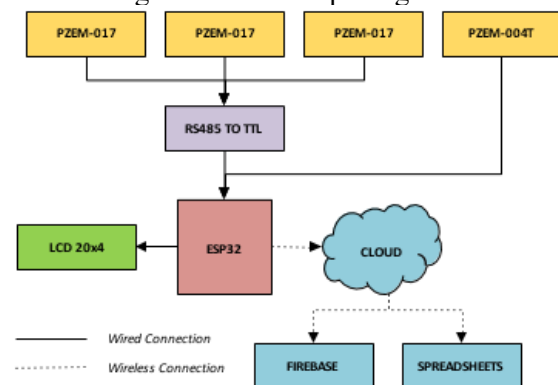
1. Studi Kasus, dimulai dengan studi kasus untuk memahami permasalahan yang terjadi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu (PLTH) di Warung Kopi Gus Kulon. Pengamatan langsung di lapangan untuk mengidentifikasi masalah.
2. Studi Literatur, Setelah permasalahan diidentifikasi, dilakukan studi literatur yang meliputi pencarian dan analisis referensi. Berfokus pada teknologi IoT, sensor PZEM, *converter AC-DC*, mikrokontroler, metode *monitoring* dan strategi pengujian.
3. Penentuan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian secara spesifik. Rumusan masalah akan menguraikan pertanyaan penelitian yang harus dijawab, sedangkan tujuan penelitian akan menjadi acuan keberhasilan pengembangan sistem.
4. Perancangan Sistem melibatkan pemilihan dan penyusunan komponen *hardware*

- seperti sensor PZEM-004T dan PZEM-017 untuk pengukuran AC dan DC, *converter AC to DC* untuk deteksi perpindahan ATS, serta mikrokontroler ESP32 untuk pengolahan data.
5. Uji Fungsional Sistem, setelah sistem dirancang, dilakukan uji fungsional. Untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai spesifikasi.
 6. Pengambilan Keputusan, atau tahap evaluasi hasil uji fungsional jika semua komponen ada malfungsi maka dilakukan revisi pada tahap perancangan sistem.
 7. Perancangan Program mencakup pembuatan kode untuk membaca data dari sensor dan di proses untuk dikirim ke server IoT.
 8. Uji Akurasi Sensor sensor dilakukan dengan membandingkan alat pembanding standar, bertujuan untuk memastikan bahwa sistem monitoring memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan untuk analisis.
 9. Pengambilan Keputusan Akurasi Sensor jika hasil pengujian menunjukkan hasil akurasi yang standar. Jika hasil tidak sesuai maka, dilakukan revisi program atau kalibrasi sensor ulang.
 10. Implementasi Sistem monitoring di Warung Kopi Gus Kulon sesuai dengan desain yang telah dirancang, dengan memperhatikan kerapian, keamanan, serta kemudahan akses untuk pemeliharaan.
 11. Uji Keseluruhan Sistem dilakukan setelah sistem terinstalasi semua yang melibatkan semua komponen.
 12. Pengambilan Keputusan ini jika sistem menunjukkan kerja dengan baik, jika ditemukan masalah akan dilakukan pengujian ulang.
 13. Pengambilan data dikumpulkan dalam jangka waktu tertentu untuk dianalisis. Data meliputi tegangan, arus, daya, dan status ATS yang terekam dalam jeda waktu tertentu.
 14. Analisis Hasil dari data yang telah dikumpulkan untuk menilai kinerja sistem *monitoring* termasuk keakuratan pembacaan dan kestabilan pengiriman data.
 15. Penarikan Kesimpulan pada tahap akhir berdasarkan hasil analisis, lalu menyusunnya dalam bentuk laporan

skripsi. Laporan ini memuat semua tahapan penelitian, temuan, dan rekomendasi pengembangan lebih lanjut.

3.3. Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk menggambarkan alur kerja, hubungan, serta fungsi dari setiap komponen utama dalam perancangan sistem. Dengan adanya diagram blok, struktur sistem dapat dipahami secara lebih sederhana melalui representasi visual yang menekankan pada proses masukan (*input*), pengolahan (*process*), dan keluaran (*output*). Pada penelitian ini, diagram blok sistem dirancang untuk menjelaskan keterhubungan antara sumber energi, sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, serta perangkat antarmuka pengguna. Penyajian dalam bentuk diagram blok mempermudah dalam memahami fungsi masing-masing komponen serta interaksi antarbagian, sebelum sistem diwujudkan dalam bentuk rangkaian fisik dan perangkat lunak.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Dimulai dari sensor PZEM-017 (*input DC*) dan PZEM-004T (*input AC*) yang bekerja mengambil data sesuai tugas masing-masing lalu data dari PZEM-017 akan dikirimkan secara serial melalui antarmuka RS485 menuju converter RS485 to TTL sebelum di proses oleh ESP32 dan data dari PZEM-004T yang terhubung langsung ke ESP32 melalui port UART1 sehingga data dapat diambil dalam jeda waktu yang telah ditentukan dan di kombinasikan dengan data dari PZEM-017 untuk analisis seluruhan. Setelah itu, converter RS485 to TTL berfungsi sebagai antarmuka antara sensor PZEM-017 yang menggunakan protokol komunikasi RS485 dengan mikrokontroler ESP32 yang menggunakan logika TTL. ESP 32 mengolah data yang diterima dari *input* PZEM-017 melalui

converter to TTL pada port Serial2 dan dari PZEM-004T melalui UART1. Data yang sudah diolah akan ditampilkan secara local di LCD, serta dikirimkan ke layanan *cloud* seperti *firebase* dan *google spreadsheet* melalui koneksi *Wi-Fi*. *Firestore* digunakan sebagai basis data berbasis *cloud* yang memungkinkan pemantauan parameter listrik melalui aplikasi atau web secara langsung. Sementara *google spreadsheet* dimanfaatkan sebagai media pencatatan historis. Keduanya menerima data dari ESP32 melalui koneksi *Wi-Fi* dengan format terstruktur.

3.4. Flowchart Sistem

Diagram alur kerja sistem diawali dengan penyajian alur proses yang menggambarkan hubungan antara setiap komponen dalam sistem *monitoring* daya pembangkit listrik tenaga surya dan bayu. Pada tahap awal, ESP32 dihubungkan ke *Wi-Fi* yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Proses ini menunjukkan bahwa perangkat memiliki konektivitas yang stabil untuk dapat mengirimkan data ke server *cloud*. Jika *Wi-Fi* sudah tersambung, sistem akan memverifikasi status koneksi *Wi-Fi*, apabila koneksi tidak berhasil maka ESP32 akan kembali mencoba menyambungkan hingga koneksi tersambung. Setelah proses koneksi berhasil langkah berikutnya menginisialisasi sensor PZEM. Inisialisasi ini mencakup peraturan komunikasi data antara sensor dan mikrokontroler, termasuk konfigurasi protokol yang digunakan seperti *Modbus RTU*. Jika sensor berhasil diinisialisasi proses akan dilanjutkan ke pembacaan data listrik jika proses inisialisasi belum maka ESP32 akan mengulang prosedur ini sampai sensor terdeteksi dan siap digunakan. Setelah itu, sensor PZEM membaca tegangan dan arus untuk melakukan pengukuran dan akan ditampilkan data dari sensor ke LCD. Selain data yang ditampilkan pada LCD data dikirim ke *Firestore* dan *spreadsheet*. Kemudian sistem melakukan pemeriksaan status pengiriman jika gagal akan muncul pesan “Gagal Terkirim” sebagai peringatan operator untuk mengetahui adanya gangguan pada saat proses pengiriman. Data yang berhasil terkirim akan disimpan juga di *Google Spreadsheet* setelah itu data akan ditampilkan pada aplikasi HYPOWER.

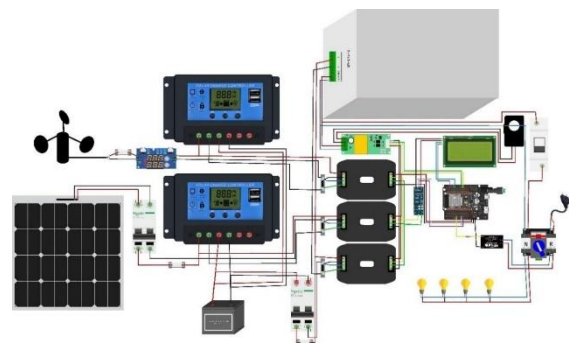
3.5. Alur Sistem Proteksi

Sistem ini memiliki dua sumber energi utama dari panel surya dan *generator* yang masing-masing dilengkapi dengan MCB dan fuse sebagai proteksi awal untuk mencegah kerusakan. Daya dari kedua sumber ini digabungkan dan diatur oleh MPPT berfungsi sebagai pengoptimal pengeluaran daya, khususnya dari panel surya, serta mengatur pengisian baterai. Baterai sebagai penyimpan energi untuk memastikan ketersediaan daya saat sumber utama nonaktif. Pada jalur keluaran, baterai menuju *inverter*, kemudian mengubah energi DC menjadi energi arus bolak-balik AC yang dapat digunakan oleh beban. Pada sisi keluaran AC dipasang RCBO untuk mendeteksi kebocoran arus dan melindungi sistem dari arus lebih, dengan MCB akhir proteksi tambahan sebelum beban. Lapisan proteksi berlapis ini memastikan keamanan peralatan dan pengguna.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rangkaian dan Alat

Sistem pembangkit listrik tenaga surya dan bayu ini memanfaatkan tiga sumber energi utama, yaitu panel surya, turbin angin, dan baterai sebagai penyimpan energi. Panel surya terhubung ke *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk mengoptimalkan penyerapan energi sebelum mengisi baterai, sedangkan turbin angin yang dilengkapi *anemometer* melalui proses *boost converter* untuk menaikkan tegangan sebelum masuk ke *Solar Charge Controller* (SCC) yang juga terhubung ke baterai. Setiap jalur input daya yang dipantau oleh PZEM-017 diberikan proteksi berupa *fuse* DC. sehingga sistem tetap aman dari risiko arus berlebih atau hubung singkat, namun proteksi ini hanya diaplikasikan pada jalur daya, bukan pada jalur catu daya sensor.



Gambar 2. Desain Rangkaian Sistem

4.2. Desain Monitoring Aplikasi Android

Dalam perancangan sistem *monitoring* Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu ini, aplikasi Android berfungsi sebagai antarmuka utama antara pengguna dengan sistem. Aplikasi dirancang agar mampu menampilkan data hasil pembacaan sensor, seperti tegangan, arus, dan daya dari masing-masing sumber energi (panel surya, turbin, dan baterai), serta daya keluaran inverter.



Gambar 3. Desain Tampilan Monitoring Inverter



Gambar 4. Desain Tampilan Monitoring Solar Cell



Gambar 5. Desain Tampilan Monitoring Turbine



Gambar 6. Desain Tampilan Monitoring Battery

4.3. Hasil Uji Fungsional sistem

Hasil dari uji fungsional disistem ini baik dari *software* atau *hardware* berstatus “Berhasil”. Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai dengan fungsinya. Hasil pengujian meliputi keberhasilan ESP32 dalam menghubungkan ke

jaringan *Wi-Fi*, kemampuan sensor PZEM membaca tegangan, arus, dan daya baik dari AC maupun DC, keakuratan tampilan data di LCD serta fungsi perangkat konversi daya juga di uji untuk memastikan suplay tetap stabil bagi rangkaian.

4.4. Uji Akurasi PZEM-017 dan 004T

Sebelum sistem *monitoring* daya diimplementasikan secara penuh, diperlukan pengujian akurasi sensor yang digunakan. Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis sensor utama yaitu PZEM-017 yang berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus pada sistem DC (panel surya, generator DC, dan baterai), serta PZEM-004T yang digunakan untuk mengukur parameter listrik pada sistem AC (*inverter*). Metode pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur acuan (multimeter digital untuk tegangan dan arus DC, serta *wattmeter* atau *clamp meter* untuk parameter AC). Selisih hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk memperoleh nilai *error* yang menggambarkan akurasi sensor.

4.4.1. Hasil Uji Akurasi PZEM-017 Pada Panel Surya

Pengujian akurasi sensor PZEM-017 dilakukan untuk memastikan bahwa nilai tegangan, arus, dan daya DC yang ditampilkan pada aplikasi HYPOWER merupakan media utama yang digunakan untuk memantau kinerja panel surya dalam sistem pembangkit listrik tenaga Surya dan Bayu.

Tabel 1. nilai hasil Perbandingan Sensor PZEM-017 pada Panel Surya

No.	Data Sensor			Data Pembanding		
	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	54.16	4.47	242	53.99	4.49	242
2	55.37	4.32	239	53.81	4.52	243
3	52.39	6.30	330	51.95	6.53	339
4	52.62	6.30	340	52.08	6.46	336
5	48.51	5.23	253	48.63	5.58	271

Tabel 2. Hasil *Error* dan Akurasi Dari Sensor PZEM-017 Panel Surya

Parameter	Rata-rata Error	Rata-rata Akurasi
Tegangan (v)	1,07	98.93
Arus (A)	3.43	96.57
Daya (W)	2.83	97.17

4.4.2. Hasil Uji Akurasi PZEM-017 Pada Generator DC

Pengujian akurasi sensor PZEM-017 dilakukan untuk memastikan bahwa data tegangan, arus, dan daya DC yang ditampilkan pada aplikasi HYPOWER benar-benar sesuai dengan kondisi sebenarnya pada *output* generator DC.

Tabel 3. Nilai Hasil Perbandingan Sensor PZEM-017 Generator DC

No.	Data Sensor			Data Pembanding		
	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	26.47	0.06	1.5	26.54	0.05	1.3
2	22.34	0.06	1.3	22.37	0.03	0.9
3	26.19	0.03	0.7	26.25	0.03	0.8
4	26.29	0.06	1.5	26.25	0.07	1.8
5	26.20	0.15	3.9	26.25	0.16	4.2

Tabel 4. Hasil *Error* dan Akurasi Dari Sensor PZEM-017 Generator DC

Parameter	Rata-rata Error	Rata- rata Akurasi
Tegangan (v)	0.19	99.81
Arus (A)	28.91	71.09
Daya (W)	19.63	80.37

4.4.3. Hasil Uji Akurasi PZEM-017 Pada Output Baterai

Pengujian akurasi sensor PZEM-017 dilakukan untuk memastikan bahwa data tegangan, arus, dan daya DC yang ditampilkan pada aplikasi HYPOWER benar-benar sesuai dengan kondisi sebenarnya pada *output* baterai.

Tabel 5. Nilai Perbandingan Sensor PZEM-017 Baterai

No.	Data Sensor			Data Pembanding		
	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	26.44	1.02	26.9	26.47	1.56	40.9
2	26.40	1.44	38.0	26.45	1.99	51.8
3	26.20	1.04	27.2	26.23	1.26	32.8
4	26.41	1.50	39.6	26.41	2.24	59.1
5	26.20	0.90	23.5	26.24	0.91	24.2

Tabel 6. Hasil *Error* dan Akurasi Dari Sensor PZEM-017 Baterai

Parameter	Rata-rata Error	Rata- rata Akurasi
Tegangan (v)	1.07	98.93
Arus (A)	3.43	96.57
Daya (W)	2.83	97.17

4.4.4. Hasil Uji Akurasi PZEM-004T Pada Inverter

Pengujian akurasi sensor PZEM-004T dilakukan untuk memastikan bahwa data tegangan, arus, dan daya AC yang ditampilkan melalui aplikasi HYPOWER benar-benar sesuai dengan kondisi aktual pada *output inverter*. Hal ini menjadi krusial karena

inverter merupakan komponen utama yang mengubah energi DC menjadi AC sehingga dapat digunakan oleh beban listrik rumah tangga.

Tabel 7. Hasil Perbandingan Sensor PZEM-004T Inverter

No.	Data Sensor			Data Pembanding		
	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)	Teg. (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	227.3	1.31	297.8	227.1	1.21	274.7
2	226.7	0.85	192.8	225.1	0.86	193.5
3	229.9	0.30	44.9	229.7	0.22	50.5
4	228.2	1.40	314.2	228.2	1.33	303.5
5	228.4	0.97	213.8	227.7	0.90	205.2

Tabel 8. Hasil *Error* dan Akurasi Dari Sensor PZEM-004T

Parameter	Rata-rata Error	Rata- rata Akurasi
Tegangan (v)	0.24	99.76
Arus (A)	11.76	88.24
Daya (W)	5.92	94.08

4.5. Uji Sistem Proteksi

Pengujian sistem proteksi dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa seluruh perangkat proteksi yang digunakan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu dapat bekerja sesuai dengan fungsi dan spesifikasinya. Metode pengujian dilakukan dengan cara mensimulasikan kondisi *short circuit* (hubungan singkat) pada kedua titik tersebut. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa RCBO pada sisi *output inverter* mampu bekerja dengan baik, yaitu langsung *trip* (memutus jalur) secara otomatis ketika terjadi hubungan singkat pada beban AC.



Gambar 7. Uji *Short Circuit* Pada Mcb Dc dan Rcbo

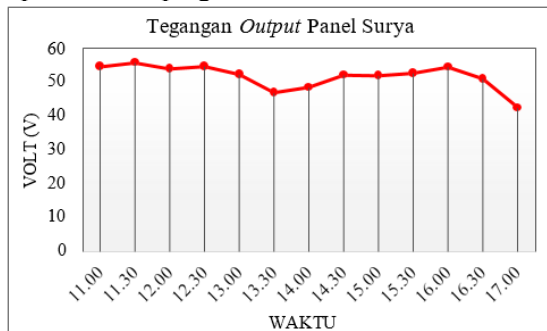
4.6. Hasil Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil monitoring dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu yang telah dirancang. Data yang disajikan mencakup

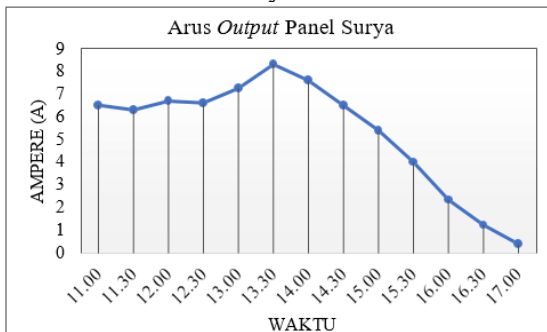
performa panel surya, generator DC, baterai, serta *inverter* sebagai komponen utama dalam sistem. Hasil *monitoring* ini bertujuan untuk mengetahui kinerja masing-masing perangkat dalam kondisi operasi nyata, termasuk besaran tegangan, arus, serta daya yang dihasilkan dan digunakan. Dengan penyajian data tersebut, dapat dianalisis seberapa baik sistem bekerja dalam menghasilkan dan menyalurkan energi listrik secara optimal.

4.6.1. Hasil Monitoring Panel Surya

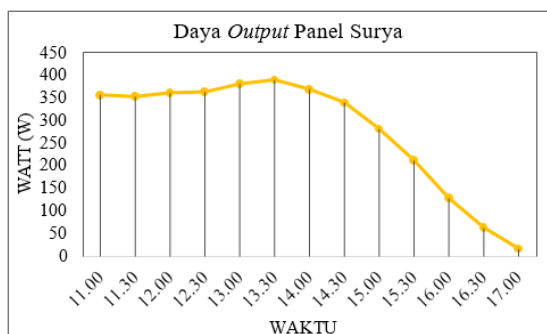
Pemantauan *output* panel surya dilakukan dari pukul 07.00 hingga 17.00 dengan parameter tegangan (V), arus (I), dan daya (P) sebagaimana ditunjukkan pada beberapa grafik di bawah.



Gambar 8. Grafik Tegangan *Output* Panel Surya



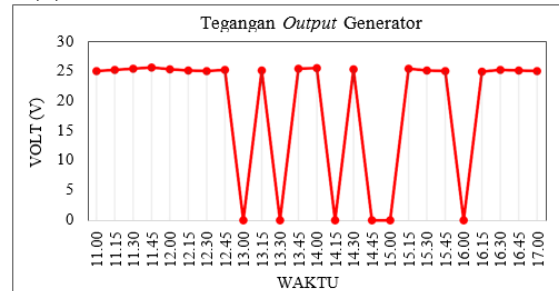
Gambar 9. Grafik Arus *Output* Panel Surya



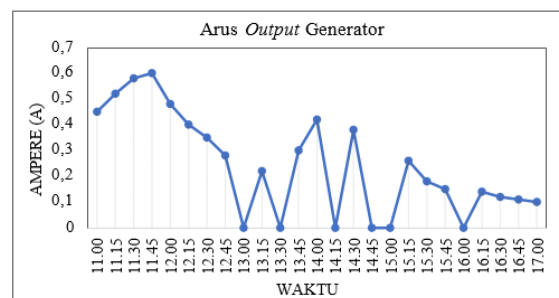
Gambar 10. Grafik Daya *Output* Panel Surya

4.6.2. Hasil Monitoring Gnerator DC

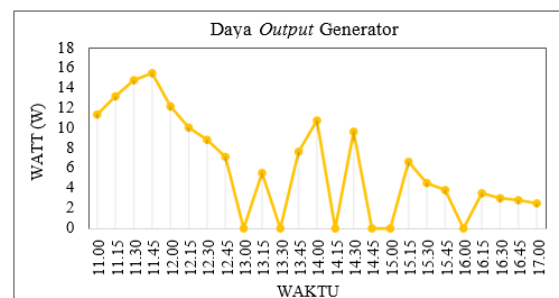
Pengamatan dilakukan dengan interval 15 menit, mencakup pukul 12.00 hingga 15.00. Parameter yang dimonitor adalah tegangan (V), arus (I), dan daya (P).



Gambar 11. Grafik Tegangan *Output* Generator DC



Gambar 12. Grafik Arus *Output* Generator DC



Gambar 13. Grafik Daya *Output* Generator DC

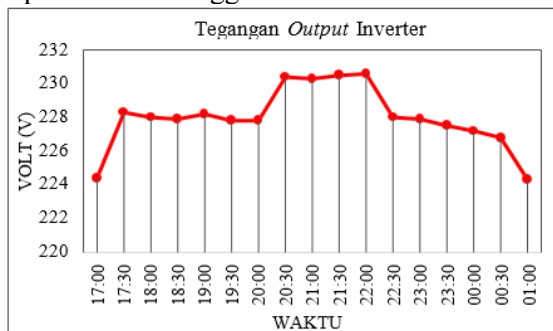
4.6.3. Hasil Monitoring Baterai

Pengujian baterai dilakukan selama 24 jam, mulai pukul 18.00 hingga pukul 18.00 keesokan harinya, dengan beban tetap berupa tiga lampu pijar 100 W yang dirangkai paralel sehingga total beban 300 W. Selama pengujian, tegangan, arus, dan daya baterai dipantau setiap 1 jam untuk melihat performa dan daya tahan baterai dalam kondisi operasi

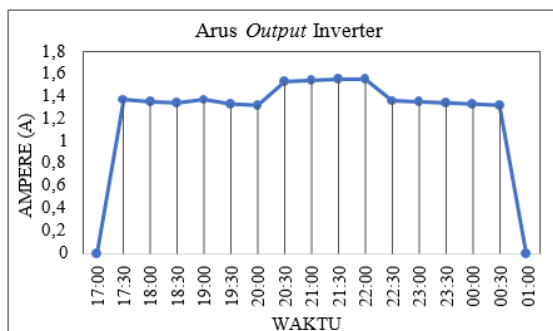
beban konstan. Data *monitoring* menunjukkan bahwa baterai mampu mempertahankan tegangan awal sekitar 26,5 V dan arus 9,2–9,8 A selama sebagian besar waktu pengujian, sehingga daya keluaran berada di kisaran 245–265 W.

4.6.4. Hasil Monitoring Inverter

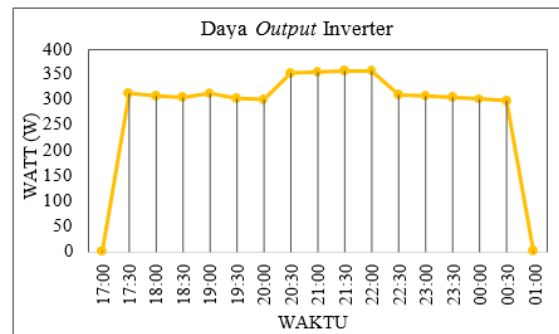
Monitoring inverter dilakukan mulai pukul 17:00 hingga 01:00 dengan interval pencatatan setiap 30 menit. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kinerja *inverter* dalam menyuplai beban penerangan dan beban tambahan lainnya, serta mengamati kestabilan tegangan dan daya yang dihasilkan. Pada pengujian ini, beban utama berupa lampu pijar dengan total daya 300 W yang digunakan sejak pukul 17:30, ditambah beban tambahan berupa *charger* laptop dan *charger smartphone* yang dinyalakan pada pukul 19:30 hingga 21:30.



Gambar 14. Grafik Tegangan Output inverter



Gambar 15. Grafik Arus Output inverter



Gambar 16. Grafik Daya Output Inverter

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan merealisasikan sistem monitoring pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu (PLTH) di Warung Kopi Gus Kulon dengan memanfaatkan sensor PZEM-004T dan PZEM-017. Sistem ini mampu memantau parameter tegangan, arus, dan daya, serta mendeteksi status perpindahan Automatic Transfer Switch (ATS). Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu bekerja stabil dan mendukung pemantauan kondisi PLTH secara menyeluruh. Sistem monitoring berhasil diintegrasikan dengan teknologi IoT menggunakan Firebase Realtime Database untuk pemantauan langsung dan Google Spreadsheets sebagai pencatatan historis data. Integrasi ini memungkinkan operator memantau parameter kelistrikan dan performa PLTH secara jarak jauh melalui koneksi internet. Hasil evaluasi terhadap kinerja sistem menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 dan PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang bervariasi, dengan rata-rata akurasi pengukuran tegangan di atas 98%, arus pada rentang 71–96%, dan daya pada rentang 77–97%. Pengujian proteksi membuktikan bahwa perangkat proteksi eksternal dan proteksi internal inverter berfungsi dengan baik. Uji ketahanan baterai menunjukkan baterai LiFePO4 100 Ah (8S) hanya mampu menyuplai beban ± 300 W selama 20,5 jam. Secara keseluruhan, sistem monitoring PLTH yang telah dikembangkan berhasil bekerja dengan baik, akurat, dan andal dengan demikian sistem ini layak digunakan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan lebih

lanjut agar sistem monitoring dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Bayu (PLTH) di Warung Kopi Gus Kulon dapat lebih optimal, yaitu:

1. Melakukan perbaikan pada sistem generator DC agar mampu menghasilkan output daya yang lebih stabil dan maksimal.
2. meningkatkan daya tahan dan kontinuitas suplai energi, disarankan menambah jumlah baterai atau menggunakan kapasitas baterai yang lebih besar.
3. Rangkaian keseluruhan instalasi lampu dan beban di Warung Kopi Gus Kulon perlu ditata dan dioptimalkan agar mampu menggunakan serta memaksimalkan output dari PLTH.
4. Disarankan untuk meningkatkan akurasi sensor dengan kalibrasi berkala serta menambahkan sistem notifikasi atau alarm otomatis ketika terjadi anomali (misalnya overcurrent, under-voltage, atau perpindahan ATS).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. B. Arief, M. Widyartono, W. Aribowo, and A. L. Wardani, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid dan Monitoring Berbasis Node-Red," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 45–50, 2024.
- [2] M. Suyanto and P. Eko, "Sistem pembangkitan listrik tenaga surya 400 Watt sebagai catu daya peralatan informasi .," 2022.
- [3] G. A. Setia, N. Winanti, F. Haz, and H. Rusiana, "Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Solar Cell dan Wind Turbine) untuk Beban Perumahan," pp. 33–39, 2019.
- [4] M. F. Nur, "Studi Optimalisasi Kinerja PLTB Melalui Pemilihan Type Generator Terhadap Stabilitas Sistem Tenaga Listrik (Stabilitas Frekuensi dan Tegangan) Sulbagsel," vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2022.
- [5] M. N. Huda and I. H. Kurniawan, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (Tenaga Angin Dan Tenaga Surya) Di Daerah Widuri Kabupaten Pemalang Menggunakan Perangkat Lunak Homer Hybrid Power Generation System Design (Wind Power And Solar Power) In The Widuri Area Pemalang District Using Homer Software," vol. 5, no. 1, 2023.
- [6] I. Chairunnisa and W. Wildian, "Rancang Bangun Alat Pemantau Biaya Pemakaian Energi Listrik Menggunakan Sensor PZEM-004T dan Aplikasi Blynk," *J. Fis. Unand*, vol. 11, no. 2, pp. 249–255, 2022.
- [7] A. Suprajitno, S. B. Utomo, and D. Nugroho, "Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Energi Angin dan Surya Melalui Sistem Battery Charging Switching," vol. 5, no. 01, pp. 14–20, 2022.
- [8] D. Hercog, T. Lerher, and M. Trunti, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," no. 1, 2023.
- [9] Y. H. Banurea, A. T. Hidayat, and I. Permatasari, "MONITORING PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MINI BERBASIS IOT," *Teodolita Media Komunikasi Ilm. di Bid. Tek.*, vol. 25, no. 2, pp. 62–71, 2024.
- [10] N. A. Windarko, M. N. Habibi, M. Ari, B. Nugroho, and E. Prasetyono, "Simulator Panel Surya Ekonomis untuk Pengujian MPPT pada Kondisi Berbayang Sebagian (Low Cost PV Photovoltaic Simulator for MPPT Testing under Partial Shading)," vol. 9, no. 1, pp. 110–115, 2020.
- [11] A. Z. Arsad, A. D. Azhar, S. R. Arsad, A. W. M. Zuhdi, C. F. Chau, and A. Ghazali, "Towards artificial intelligence for solar charge controller: an analytical study of recent status, optimization and module development," *Energy Syst.*, pp. 1–54, 2025.
- [12] I. W. Jondra, I. K. Suryawan, I. P. Agus, and S. Wibawa, "Fuse Memproteksi Inverter dan Baterai BESS dalam Sistem Distribusi Listrik," vol. 14, no. 2, pp. 318–328, 2025.
- [13] J. A. T.-G. J.S. Artal-Sevil, J.M. Lujano-Rojas, R. Dufo-López, J.L. Bernal-Agustín, "Experimental LiFePO 4 Battery Cycling System . Analysis and Simulation of a stand-alone / on-grid Photovoltaic Applications .," vol. 3, no. 3, pp. 282–290, 2025.
- [14] A. ALBENI FAKHRI1, MUHAMMAD NASIR2, "Abstract: This research aims to design and implement a PLC-based control system for an Automatic Transfer Switch in a hybrid power supply network , integrating solar and wind energy sources with battery storage and the national grid . This research uses ," vol. 8, no. 2, pp. 417–428, 2025.
- [15] A. K. M Rizal Alfariski, Muhammad Dhandi, "Automatic Transfer Switch (ATS) Using Arduino Uno , IoT-Based Relay and Monitoring dan Monitoring Berbasis IoT," pp. 1–8.
- [16] F. Khairurrizal, D. N. Purnamasari, M. Ulum, and F. Damayanti, "Smart Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis Internet Of Things (IoT)," vol. 7, no. 01, 2024.
- [17] U. M. Tyas *et al.*, "Implementasi aplikasi arduino ide pada mata kuliah sistem digital 1,2,3,4," vol. 1, no. April, 2023.

- [18] M. F. Ilham, “Penerapan Firebase Realtime Database pada Aplikasi E-Tilang Smartphone berbasis Mobile Android,” *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 4, no. 5, pp. 854–863, 2020.
- [19] D. A. M and I. K. Sari, “ALAT UKUR TINGGI BADAN DIGITAL BERBASIS IOT,” vol. 14, no. 3, pp. 1–11, 2024.