

Sistem *Monitoring* Solar Panel Berbasis *Ubidots*

Tole Sutikno¹, R. Sumantri Hardhianto^{2*}, Hendril Satrian Purnama³

^{1,2}Universitas Ahmad Dahlan, ^{1,3}Embedded Systems and Power Electronics Research Group (ESPERG)

*Corresponding author, e-mail: sumantrizz864@gmail.com

Abstrak

Indonesia saat ini sangat bergantung pada sumber energi tak terbarukan seperti minyak, bahan bakar fosil, batu bara, dan gas alam untuk pembangkit listrik. Namun, penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya semakin meningkat sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Untuk mengoptimalkan penggunaan energi surya, diperlukan sistem pemantauan *real-time* yang dapat memantau kinerja panel surya tanpa pemeriksaan manual. Penelitian ini merancang dan menguji sistem pemantauan panel surya berbasis IoT menggunakan platform *Ubidots*. Sistem ini menggunakan sensor seperti sensor tegangan DC, sensor arus ACS712, sensor suhu DHT22, dan sensor iluminasi cahaya BH1750 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Pengujian dilakukan dengan mengambil pengukuran sensor setiap 5 menit. Data sensor dikirim ke platform *Ubidots* melalui koneksi internet untuk ditampilkan dan dianalisis. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat secara akurat memantau parameter utama panel surya seperti tegangan, arus, daya, suhu, dan iluminasi cahaya secara *real-time*. Pengaruh iluminasi cahaya terhadap keluaran tegangan, arus, dan daya juga dianalisis. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor-sensor yang digunakan, dengan hasil akurasi sensor tegangan sebesar 98,02%, sensor arus sebesar 91,89%, dan sensor suhu sebesar 95,79%. Secara keseluruhan, sistem pemantauan panel surya berbasis *Ubidots* ini memberikan informasi yang akurat dan komprehensif tentang kinerja panel surya, membantu mengoptimalkan penggunaan energi surya.

Keyword: solar panel, ESP32, *monitoring*, *ubidots*, *internet of things*

Abstract

Indonesia is currently highly dependent on non-renewable energy sources such as oil, fossil fuels, coal, and natural gas for electricity generation. However, the use of renewable energy sources like solar power is increasingly growing as a more environmentally friendly alternative. To optimize solar energy use, a real-time monitoring system is needed to track solar panel performance without manual inspection. This research designs and tests an IoT-based solar panel monitoring system using the *Ubidots* platform. The system uses sensors such as a DC voltage sensor, ACS712 current sensor, DHT22 temperature sensor, and BH1750 light intensity sensor connected to an ESP32 microcontroller. Testing is conducted by taking sensor measurements every 5 minutes. Sensor data is sent to the *Ubidots* platform via an internet connection for display and analysis. The testing shows that the system can accurately monitor key solar panel parameters such as voltage, current, power, temperature, and light intensity in real-time. The effect of light intensity on the output voltage, current, and power is also analyzed. Tests were also performed to determine the accuracy levels of the sensors used, with results showing a voltage sensor accuracy of 98.02%, a current sensor accuracy of 91.89%, and a temperature sensor accuracy of 95.79%. Overall, this *Ubidots*-based solar panel monitoring system provides accurate and comprehensive information about solar panel performance, helping to optimize the use of solar energy.

Keywords: solar panel, ESP32, *monitoring*, *ubidots*, *internet of things*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu wilayah yang terletak di garis khatulistiwa, dan memiliki berbagai kekayaan alam. Sumber daya seperti aliran air, sinar matahari, energi angin, dan kekayaan alam lainnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yang baru dan terbarukan. Sumber energi listrik baru dan terbarukan dapat mendukung keberlangsungan hidup manusia di masa depan. Dengan habisnya stok energi fosil seperti minyak dan batu bara seiring waktu, penting untuk menggantinya dengan penggunaan sumber energi listrik baru dan terbarukan [1]–[6]. Salah satu sumber daya tersebut adalah energi terbarukan, yang meliputi elemen seperti air, udara, sinar matahari (melalui panel surya), dan biomassa [7]–[13]. Energi

terbarukan memiliki berbagai keunggulan, seperti sifatnya yang tidak terbatas, ketersediaannya yang melimpah, biaya yang efisien, dan dampaknya yang ramah lingkungan [14].

Intensitas radiasi matahari di Indonesia rata-rata mencapai 4,5 kWh/m² per hari. Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), yang dapat menghasilkan daya signifikan dan dimanfaatkan oleh berbagai pihak [15], [16]. Energi matahari adalah salah satu jenis energi yang paling bersih, ramah lingkungan, dan melimpah dibandingkan dengan energi lainnya. Selain itu, teknologi panel surya memiliki potensi untuk menjadi sumber energi yang sangat efisien, terutama dengan adanya sistem pemantauan dan kontrol modern [17], [18] [19]–[28]. Proses konversi energi listrik dengan teknologi fotovoltaik mengubah foton dari sinar matahari menjadi energi listrik. Foton tersebut ditangkap dan diubah menjadi daya listrik oleh solar *cell* (panel surya) [29]. Menurut sebuah studi dari *International Energy Agency* (IEA), instalasi panel surya diperkirakan akan memenuhi 45% dari total kebutuhan energi dunia pada tahun 2050. Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang diatur dalam Perpres No. 22 Tahun 2017, Indonesia menargetkan pengembangan energi baru dan terbarukan mencapai 23% pada tahun 2025 [30].

Sistem pemantauan panel surya pada umumnya hanya melalui alat yang terpasang pada unit panel surya dan dilakukan secara manual sehingga parameter dan data yang diperoleh terbatas, dan tidak dapat memperoleh informasi setiap saat [31]. Selain itu, pemantauan oleh operator secara langsung memiliki kekurangan ketika unit pembangkit terletak di lokasi yang berjauhan, karena operator harus mengunjungi setiap lokasi pembangkit [32].

Untuk pemilihan jenis – jenis panel surya ada banyak yang dapat digunakan. Panel surya tersedia dalam berbagai jenis dengan keunggulan dan kekurangan masing-masing. Silikon *monocrystalline*, yang terbuat dari silikon halus dengan efisiensi sekitar 15%, dikenal karena bentuk ramping dan rona hitamnya. Silikon *polycrystalline*, dibuat dari silikon leleh dengan tampilan khas retakan, memiliki efisiensi lebih rendah dan memerlukan ukuran lebih besar untuk *output* yang sama. *Thin film solar cell*, sel surya yang sangat tipis dan fleksibel, memiliki efisiensi rendah sekitar 8,5% tetapi lebih ringan dan fleksibel. Sementara itu, panel surya *compound thin film triple junction*, yang memiliki tiga lapisan, menawarkan efisiensi sangat tinggi hingga 45% dan digunakan terutama untuk aplikasi luar angkasa, bukan untuk kebutuhan sehari-hari seperti perangkat elektronik atau pompa air [33].

Di sisi lain, kemajuan konsep *Internet of things* (IoT) saat ini telah berkembang pesat. Berbagai kebutuhan manusia kini dapat dipenuhi melalui pemanfaatan jaringan internet. IoT adalah sebuah sistem yang mengintegrasikan jaringan internet dengan sistem-sistem fisik [34]. Teknologi IoT dapat mengumpulkan semua data – data hasil pengukuran dari sensor-sensor yang dikirimkan ke jaringan internet dimana data – data tersebut akan diproses untuk ditampilkan pada sebuah halaman web, sehingga memudahkan bagi pengguna internet melihatnya melalui situs web [35]. Dengan IoT, pengecekan dan *monitoring* solar panel menjadi lebih efektif, menghemat waktu dan tenaga dibandingkan metode konvensional. Selain itu, *monitoring* dapat dilakukan dari mana saja dan kapan saja melalui jaringan internet.

Salah satu dari banyaknya platform IoT populer yang dapat dipilih ialah *Ubidots*. *Ubidots* merupakan platform dari *Internet of things* (IoT) yang dapat mengelola perangkat secara bersamaan kemudian disimpan dalam bentuk data serta menampilkannya dalam bentuk grafik dimana data yang diterima berasal dari parameter sensor pada mikrokontroler dan disimpan pada penyimpanan *cloud* di *Ubidots* [36]. *Ubidots* memungkinkan konfigurasi tindakan dan notifikasi dalam bentuk peringatan berdasarkan data waktu nyata. Platform ini juga memiliki fitur *application programming interface* (API) yang memungkinkan mikrokontroler yang terhubung ke internet untuk membaca dan menulis data ke *Ubidots* pada setiap fungsi fiturnya [37].

ESP32 adalah sistem mikrokontroler yang hemat biaya dan berdaya kecil pada chip dengan *Wi-Fi* dan Bluetooth mode ganda yang disertakan [38]. Dalam perancangan alat *monitoring* solar panel, Arduino Uno sering digunakan, namun kelemahannya adalah konektivitas *Wi-Fi* yang memerlukan modul eksternal, menambah biaya dan kurang efisien. Alternatif yang lebih efisien dan tanpa biaya tambahan adalah menggunakan mikrokontroler ESP32, yang memiliki konektivitas *Wi-Fi* terintegrasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil *monitoring* pengujian solar panel menggunakan platform *Ubidots*, serta membandingkan akurasi sensor-sensor yang digunakan dengan alat ukur standar seperti multimeter, amperemeter analog, dan termometer digital. Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis pengaruh iluminasi cahaya terhadap tegangan, arus, dan daya *output* solar panel. Diharapkan,

penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi pemantauan solar panel, mendukung penggunaan energi terbarukan yang ramah lingkungan, dan menyediakan data yang bermanfaat untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan teknologi panel surya atau sistem energi terbarukan lainnya.

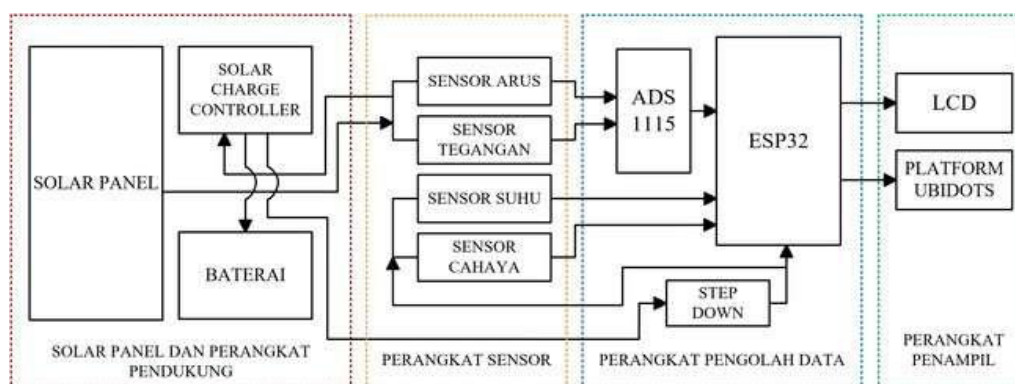
METODE

Objek penelitian yang diteliti pada penelitian ini adalah sistem *monitoring* solar panel berbasis IoT *Ubidots* Platform. Penelitian ini menggunakan metodologi prototipe untuk perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Penelitian juga melakukan analisis mengenai hasil data yang diukur pada parameter sensor arus, tegangan, suhu, dan cahaya pada solar panel berbasis IoT *Ubidots* Platform. Parameter pengukuran disesuaikan dengan lingkup penelitian, yaitu sensor arus, tegangan, daya, suhu, dan cahaya.

Dalam perancangan sistem *monitoring* solar panel berbasis *Ubidots* secara keseluruhan, terdapat beberapa elemen penting. Pertama, terdapat blok diagram yang menggambarkan komponen utama dan hubungan antar komponen dalam sistem. Kedua, terdapat flowchart yang mengilustrasikan alur kerja atau proses dalam sistem. Ketiga, ada diagram *wiring* yang menjelaskan koneksi pengkabelan antar komponen dalam sistem.

Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem ini memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana setiap komponen dalam sistem *monitoring* solar panel berbasis *Ubidots* saling berhubungan. Diagram ini mengilustrasikan secara detail hubungan antara setiap komponen. Blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

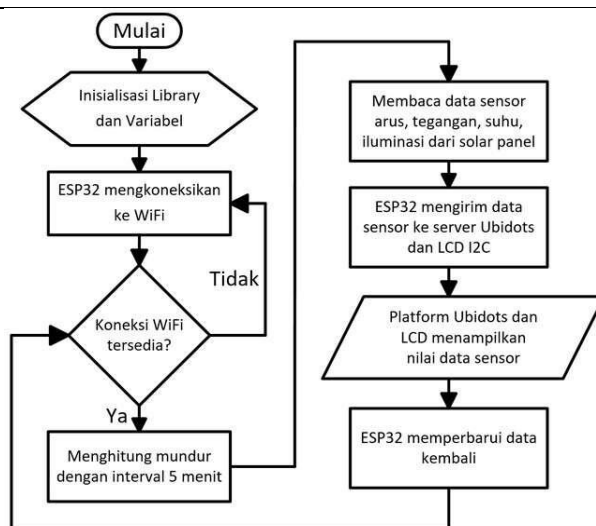


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Gambar 1 adalah diagram blok penelitian yang terdiri dari empat bagian: bagian merah untuk solar panel dan perangkat pendukung (solar panel, *solar charge controller*, baterai), bagian kuning untuk perangkat sensor (sensor arus, tegangan, suhu, dan cahaya), bagian biru untuk perangkat pengolah data (ADS1115, ESP32, *stepdown*), dan bagian hijau untuk perangkat penampil (LCD dan platform *Ubidots*). Solar panel 30W *monocrystalline* terhubung dengan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan DC. *Solar charge controller* mengatur pengisian baterai VRLA 12V, sementara *stepdown* XL4015 menurunkan tegangan menjadi 5V DC. Sensor ACS712 dan sensor tegangan DC mengukur arus dan tegangan dari solar panel, hasilnya dikonversi oleh ADC ADS1115 untuk dibaca oleh ESP32. ESP32, sebagai pusat pengolahan data, mengumpulkan pengukuran dari sensor DHT22 (suhu) dan BH1750 (cahaya), menampilkan data pada LCD I2C dan mengirimkannya ke platform *Ubidots*.

Flowchart Sistem

Flowchart sangat penting untuk mempermudah pemahaman tentang cara kerja sistem *monitoring* solar panel dengan menggunakan *Ubidots*, yang menggambarkan secara jelas proses pengumpulan data dari solar panel dan pengirimannya ke platform *Ubidots* untuk pemantauan. Dengan flowchart ini, terlihat dengan jelas langkah-langkah dan interaksi antar komponen dalam sistem yang diimplementasikan. Flowchart sistem dapat dilihat pada Gambar 2.

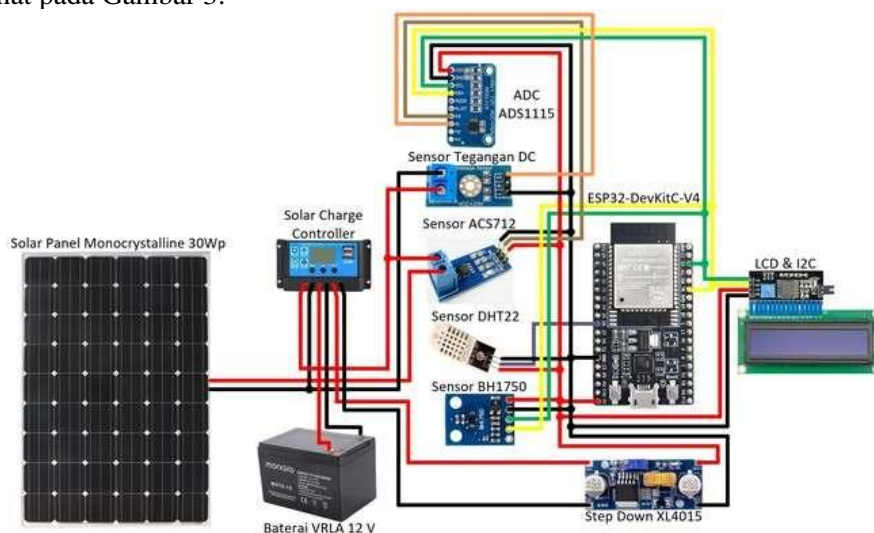


Gambar 2. Flowchart Sistem

Gambar 2 menunjukkan alur kerja sistem *monitoring* menggunakan ESP32 untuk mengumpulkan dan mengirimkan data sensor dari solar panel ke platform *Ubidots* dan LCD I2C. Proses dimulai dengan inisialisasi *library* dan variabel, kemudian ESP32 mencoba menghubungkan ke jaringan *Wi-Fi*. Jika berhasil, sistem lanjut ke hitungan mundur 5 menit. Selanjutnya, ESP32 membaca nilai data dari sensor arus, tegangan, suhu, dan cahaya, lalu mengirimkannya ke *Ubidots* dan LCD. Nilai data ditampilkan di *Ubidots* dan LCD, kemudian ESP32 memperbarui data secara berkelanjutan, memastikan data sensor selalu terkini dan dapat diakses.

Wiring Diagram Sistem

Wiring diagram sistem adalah gambaran grafis dari sirkuit listrik yang menampilkan hubungan antar komponen serta jalur pengkabelan secara detail. Diagram ini sangat penting dalam mempermudah instalasi, pemeliharaan, dan pemecahan masalah pada sistem *monitoring* solar panel berbasis *Ubidots*. *Wiring* diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Wiring Diagram Sistem

Gambar 3 adalah diagram pengkabelan sistem yang melibatkan solar panel *monocrystalline* 30 Wp, *solar charge controller*, baterai VRLA 12 V, ADS1115, sensor tegangan DC, sensor arus ACS712, sensor suhu DHT22, sensor iluminasi BH1750, ESP32 DevKitC-V4, *Stepdown* XL4015, dan LCD I2C 16x2. Solar panel mengalirkan arus positif ke sensor arus ACS712, yang kemudian membagi arus ke sensor tegangan DC dan *solar charge controller*. Arus negatif dari solar panel terhubung ke *solar charge controller* dan sensor

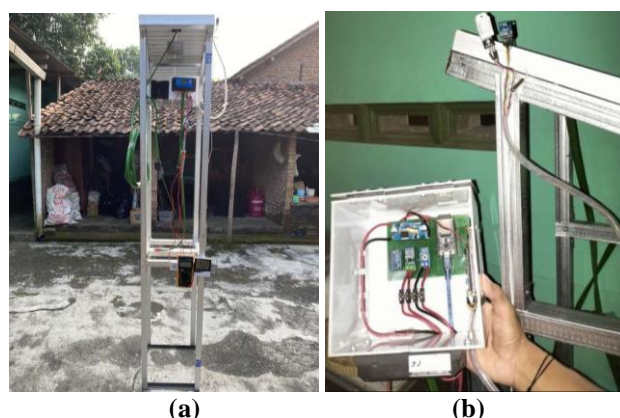
tegangan DC. *Solar charge controller* mengalirkan arus ke baterai dan *stepdown* XL4015, yang menyediakan daya untuk ESP32, sensor BH1750, DHT22, ACS712, sensor tegangan DC, ADS1115, dan LCD I2C. Komunikasi antara komponen dilakukan melalui pin SDA dan SCL pada ESP32, dengan data sensor DHT22 ke pin 26 ESP32, sensor ACS712 ke pin A0 ADS1115, dan sensor tegangan DC ke pin A1 ADS1115.

Pengujian Sistem

Pengujian sistem melibatkan tiga tahapan: pertama, pengujian solar panel menggunakan platform *Ubidots* dengan mengumpulkan data dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB setiap 5 menit untuk memantau perubahan kinerja sesuai cahaya matahari; kedua, pengujian keakuratan sensor dengan membandingkan data dari sensor tegangan DC, sensor arus ACS712, dan sensor suhu DHT22 dengan alat ukur standar; dan ketiga, analisis pengaruh iluminasi cahaya untuk menilai bagaimana perubahan iluminasi memengaruhi tegangan, arus, dan daya *output* solar panel berdasarkan pengujian sensor iluminasi terhadap sensor tegangan dan arus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan perangkat atau sistem memerlukan proses pengujian untuk menjamin fungsinya bekerja dengan baik. Setelah pengujian selesai, setiap hasilnya akan dianalisis dan dibahas. Berikut merupakan hasil rangkaian sistem secara keseluruhan yang telah dibuat dan telah dilakukan pengujian. Hasil rangkaian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.

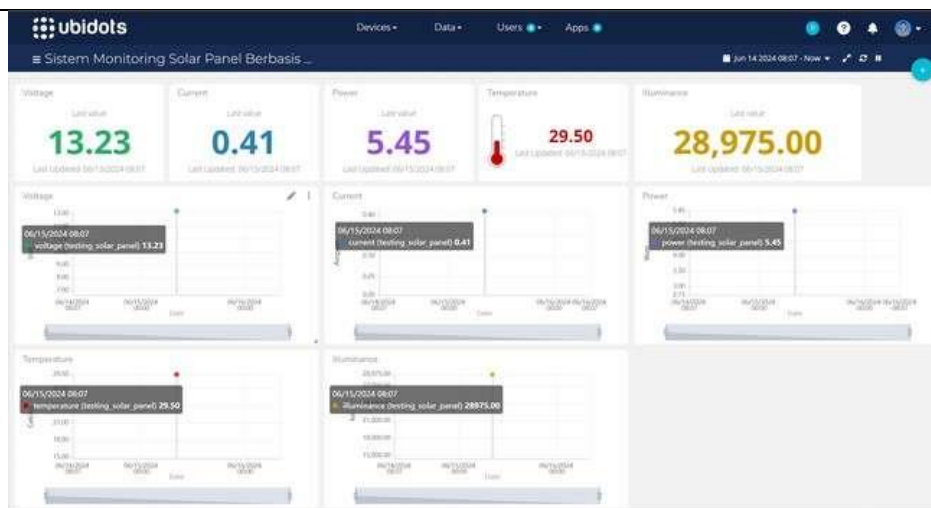


Gambar 4. (a) Rangkaian Sistem Keseluruhan (b) Hasil Wiring Rangkaian Sistem

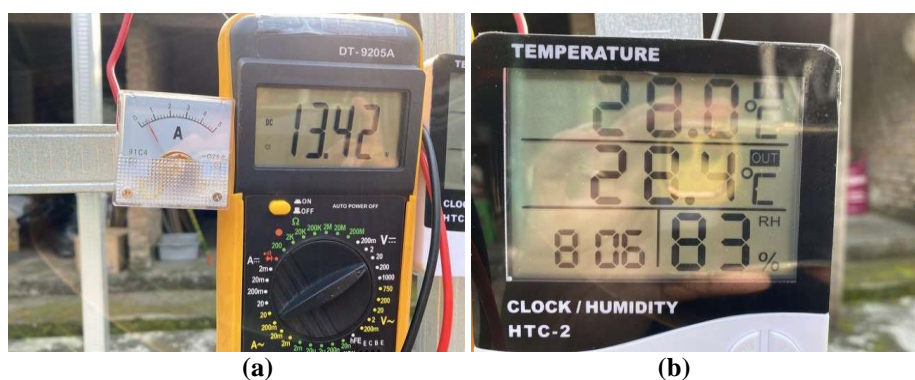
Gambar 4 menunjukkan rangkaian keseluruhan sistem dan hasil *wiring* rangkaian sistem. Alat atau sistem ditempatkan di halaman/teras rumah. *Bracket* untuk solar panel, baterai, dan komponen lainnya dibuat dari baja ringan jenis *hollow* berukuran 4 x 4 cm, dengan tinggi 2 meter. Gambar 4.5 menunjukkan *wiring* rangkaian sistem yang meliputi *Stepdown* XL4015, ESP32, sensor tegangan DC, sensor arus ACS712, dan ADS1115, yang ditempatkan dalam box akrilik. Sensor suhu DHT22 dan sensor iluminasi cahaya BH1750 ditempatkan di samping solar panel.

Pengujian Keakuratan Sensor

Pengujian keakuratan sensor dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat hasil pengukuran sensor yang digunakan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat standar seperti multimeter, amperemeter analog, dan termometer digital. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor tegangan DC, sensor Arus ACS712, dan sensor suhu DHT22 yang ditampilkan pada platform *Ubidots* dengan hasil pengukuran yang ditampilkan pada multimeter, amperemeter analog, dan termometer digital. Hasil pengukuran sensor yang ditampilkan di platform *Ubidots* dibandingkan dengan hasil alat standar untuk menilai akurasi ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Tampilan Hasil Pengujian Menggunakan Platform Ubidots



Gambar 7. Tampilan Hasil Pengujian Menggunakan: (a) Multimeter dan Amperemeter Analog; (b) Termometer Digital

Gambar 6 menunjukkan salah satu hasil pengujian menggunakan platform *Ubidots* pada pukul 08.07 WIB yang menampilkan lima parameter yang diukur oleh sensor tegangan, arus, suhu, dan iluminasi cahaya. Dari hasil tersebut, tiga parameter diambil untuk dibandingkan dengan pengukuran menggunakan multimeter, amperemeter analog, dan termometer digital. Gambar 7 menunjukkan salah satu hasil pengujian tegangan, arus, dan suhu yang diukur menggunakan multimeter, amperemeter analog, dan termometer digital pada pukul 08.07. Hasil ini digunakan untuk membandingkan pengukuran dari sensor tegangan, arus, dan suhu yang ditampilkan di platform *Ubidots*.

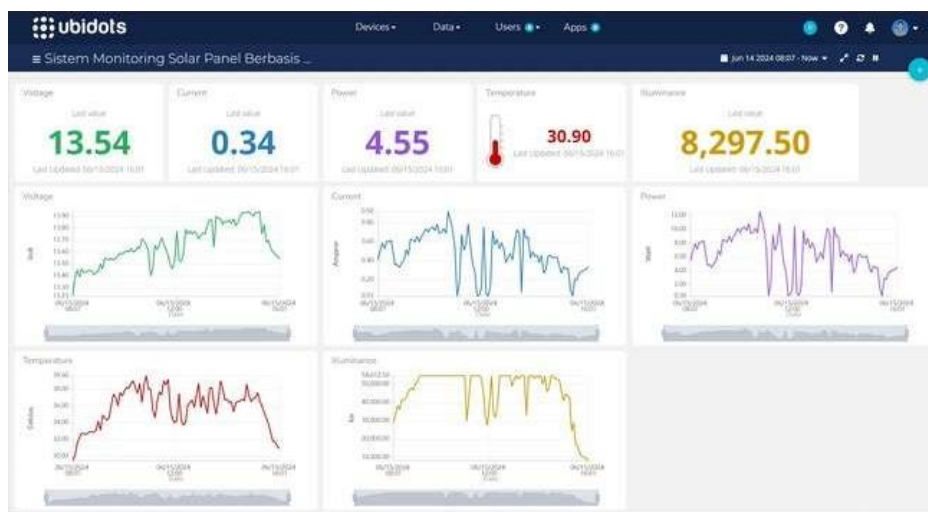
Tabel 4. Hasil Perbandingan Pengujian Tegangan, Arus, dan Suhu antara platform *Ubidots* dengan Multimeter, Amperemeter Analog, dan Termometer Digital

15/06/2024, 08.07 – 16.01	TEGANGAN	ARUS	SUHU
NILAI RATA - RATA ERROR (%)	1,98 %	8,11 %	4,21 %
AKURASI (%)	98,02 %	91,89 %	95,79 %

Tabel 4 menunjukkan hasil perbandingan pengujian tegangan, arus, dan suhu antara platform *Ubidots* dengan multimeter, amperemeter analog, dan termometer digital. Dari tabel tersebut diperoleh nilai rata-rata *error* sensor tegangan sebesar 1,98%, sensor arus sebesar 8,11%, dan sensor suhu sebesar 4,21%. Selain itu, nilai akurasi sensor tegangan adalah 98,02%, sensor arus adalah 91,89%, dan sensor suhu adalah 95,79%.

Pengujian Solar Panel Menggunakan Platform Ubidots

Pengujian dilakukan menggunakan laptop dan platform *Ubidots* untuk memantau data parameter dari sensor-sensor. Sebelum pengujian, berbagai penyetelan dilakukan di platform *Ubidots* agar nilai pembacaan hasil pengukuran sensor dapat ditampilkan secara langsung. Pengujian solar panel menggunakan platform *Ubidots* menghasilkan 95 sampel data yang telah dilakukan mulai dari pukul 08.07 hingga pukul 16.01 WIB.



Gambar 5. Tampilan Hasil Pengujian Solar Panel Dashboard Ubidots

Gambar 5 menunjukkan *Dashboard Ubidots* hasil pengujian solar panel pada 15 Juni 2024 dari pukul 08.07 hingga 16.01. *Dashboard* menampilkan pengukuran dari sensor tegangan, arus, suhu, dan iluminasi cahaya, dengan daya (*power*) dihitung dari perkalian sensor tegangan dan arus menggunakan rumus $P = V \times I$. Terdapat 5 *widget Metric* yang menampilkan nilai terbaru untuk *Voltage*, *Current*, *Power*, *Temperature*, dan *Illuminance*, serta 5 *widget Line chart* yang menunjukkan grafik hasil pengukuran sensor dari awal hingga akhir.

Hasil Pengujian Solar Panel Pada Pagi Hari

Pengujian solar panel pada pagi hari telah dilakukan pada pukul 08.07 hingga pukul 10.00 WIB. Pengujian pada pagi hari menghasilkan 23 sampel data. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian solar panel pada pagi hari.

Tabel 1. Hasil Pengujian Solar Panel Pagi Hari

15/06/2024, 08.07 – 10.00	TEGANGAN PANEL (V)	ARUS PANEL (A)	DAYA (Watt)	SUHU UDARA (°C)	ILUMINASI CAHAYA (LUX)
Nilai Rata – Rata	13,47	0,55	7,39	33,92	48098,95
Nilai Tertinggi	13,59	0,74	10,13	37,6	54612,5
Nilai Terendah	13,23	0,33	4,48	29,5	28975

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian solar panel pada pagi hari, dengan nilai rata-rata pengukuran tegangan 13,47 Volt, arus 0,55 Ampere, daya 7,39 Watt, suhu 33,92 °C, dan iluminasi cahaya 48098,95 lux. Nilai tertinggi yang tercapai adalah tegangan 13,59 Volt, arus 0,74 Ampere, daya 10,13 Watt, suhu 37,6 °C, dan iluminasi cahaya 54612,5 lux, sementara nilai terendah adalah tegangan 13,23 Volt, arus 0,33 Ampere, daya 4,48 Watt, suhu 29,5 °C, dan iluminasi cahaya 28975 lux.

Hasil Pengujian Solar Panel Pada Siang Hari

Pengujian solar panel pada siang hari telah dilakukan pada pukul 10.05 hingga pukul 14.01 WIB. Pengujian pada siang hari menghasilkan 48 sampel data. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian solar panel pada siang hari.

Tabel 2. Hasil Pengujian Solar Panel Siang Hari

15/06/2024, 10.05 – 14.01	TEGANGAN PANEL (V)	ARUS PANEL (A)	DAYA (Watt)	SUHU UDARA (°C)	ILUMINASI CAHAYA (LUX)
Nilai Rata – Rata	13,68	0,52	7,09	36,94	50379,01
Nilai Tertinggi	13,9	0,92	12,55	39,6	54612,5
Nilai Terendah	13,4	0,03	0,39	33,7	27281,67

Hasil Pengujian Solar Panel Pada Sore Hari

Pengujian solar panel pada sore hari telah dilakukan pada pukul 14.06 hingga pukul 16.01 WIB. Pengujian pada sore hari menghasilkan 24 sampel data. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian solar panel pada sore hari.

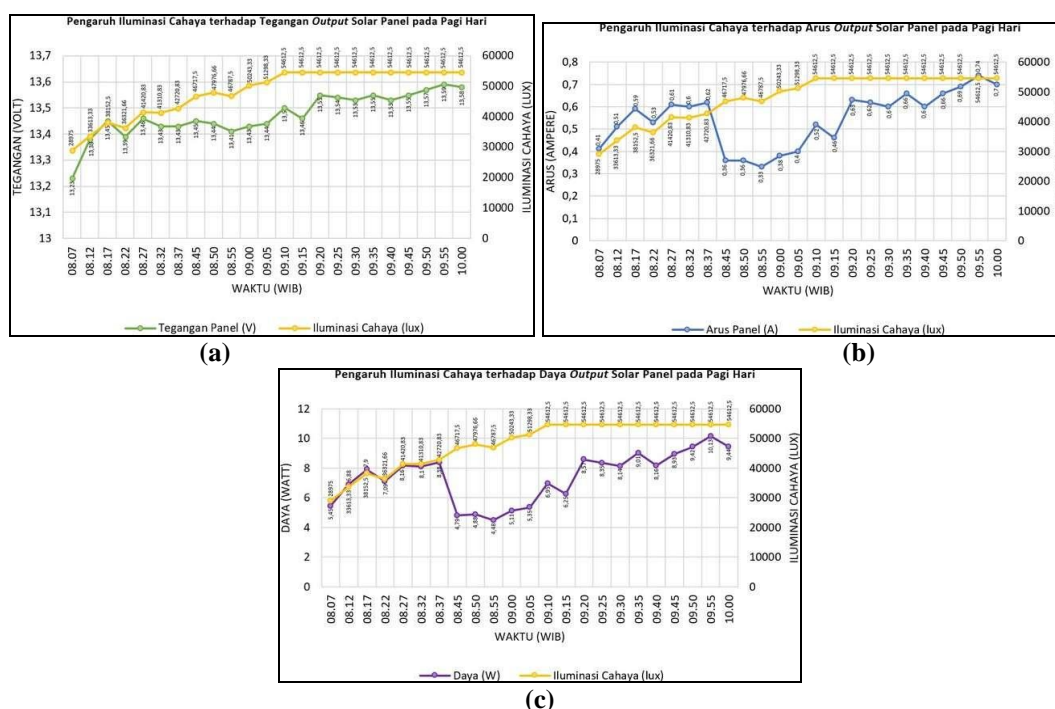
Tabel 3. Hasil Pengujian Solar Panel Sore Hari

15/06/2024, 14.06 – 16.01	TEGANGAN PANEL (V)	ARUS PANEL (A)	DAYA (Watt)	SUHU UDARA (°C)	ILUMINASI CAHAYA (LUX)
Nilai Rata – Rata	13,81	0,32	4,47	35,4	36488,26
Nilai Tertinggi	13,94	0,46	6,41	38,6	54612,5
Nilai Terendah	13,54	0,03	0,36	30,9	8297,5

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian solar panel pada sore hari, dengan nilai rata-rata tegangan 13,81 Volt, arus 0,32 Ampere, daya 4,47 Watt, suhu 35,4 °C, dan iluminasi cahaya 36488,26 lux. Nilai tertinggi yang dicapai adalah tegangan 13,94 Volt, arus 0,46 Ampere, daya 4,47 Watt, suhu 35,4 °C, dan iluminasi cahaya 54612,5 lux, sementara nilai terendah adalah tegangan 13,54 Volt, arus 0,03 Ampere, daya 0,36 Watt, suhu 30,9 °C, dan iluminasi cahaya 8297,5 lux.

Analisis Pengaruh Iluminasi Cahaya terhadap Tegangan, Arus, dan Daya Output Solar Panel pada Pagi Hari

Pengaruh iluminasi cahaya terhadap tegangan, arus, dan daya output solar panel pada pagi hari dianalisis dari hasil pengujian sensor iluminasi cahaya terhadap sensor tegangan dan arus yang dilakukan antara pukul 08.07 – 10.00 WIB. Hasil analisis ini ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 8.

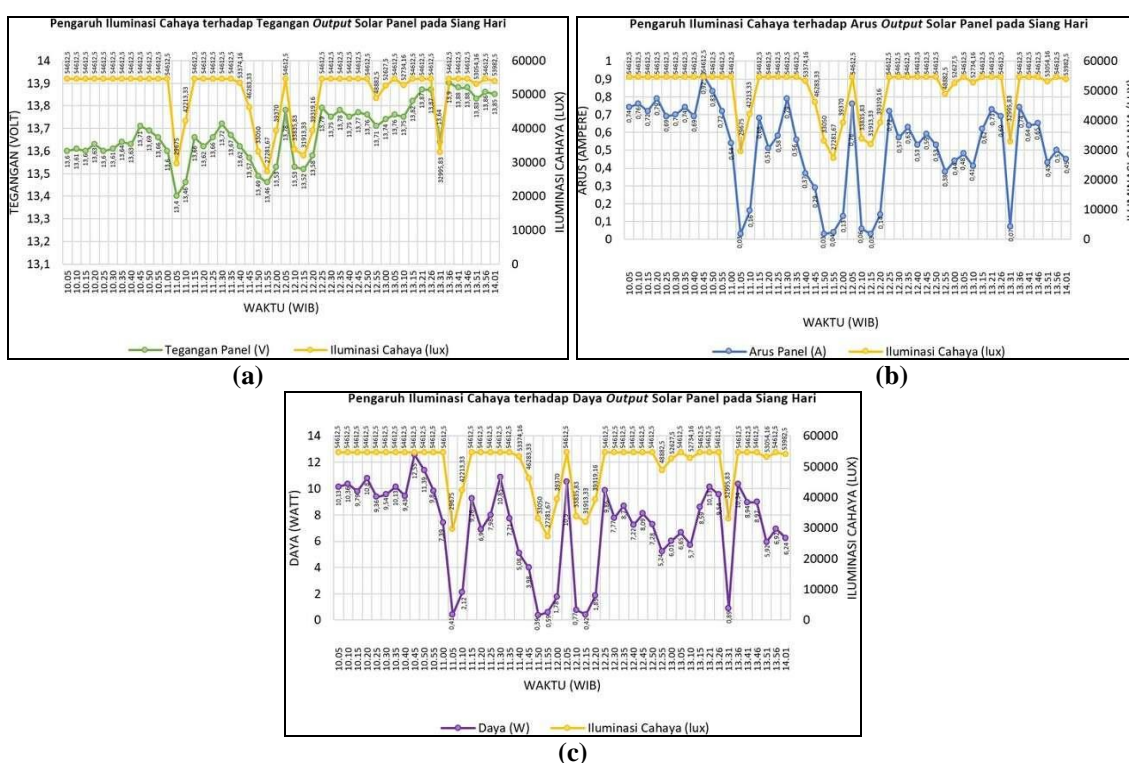


Gambar 8. Grafik Pengaruh Iluminasi Cahaya terhadap: (a) Tegangan; (b) Arus; (c) Daya Output Solar Panel pada Pagi Hari

Gambar 8 menunjukkan pengaruh iluminasi cahaya terhadap tegangan, arus, dan daya *output* solar panel pada pagi hari. Iluminasi cahaya meningkat dari 28.975 lux pada pukul 08.07 hingga mencapai puncak 54.612,5 lux pada pukul 09.10, kemudian stabil. Tegangan dan arus panel menunjukkan pola fluktuatif, dengan tegangan mencapai puncak 13,59 Volt pada pukul 09.55 dan arus mencapai puncak 0,74 Ampere pada waktu yang sama. Daya *output* solar panel meningkat seiring dengan iluminasi cahaya, meskipun mengalami fluktuasi, dan mencapai puncak 10,13 Watt pada pukul 09.55 sebelum turun menjadi 9,44 Watt pada pukul 10.00 WIB.

Analisis Pengaruh Iluminasi Cahaya terhadap Tegangan, Arus, dan Daya Output Solar Panel pada Siang Hari

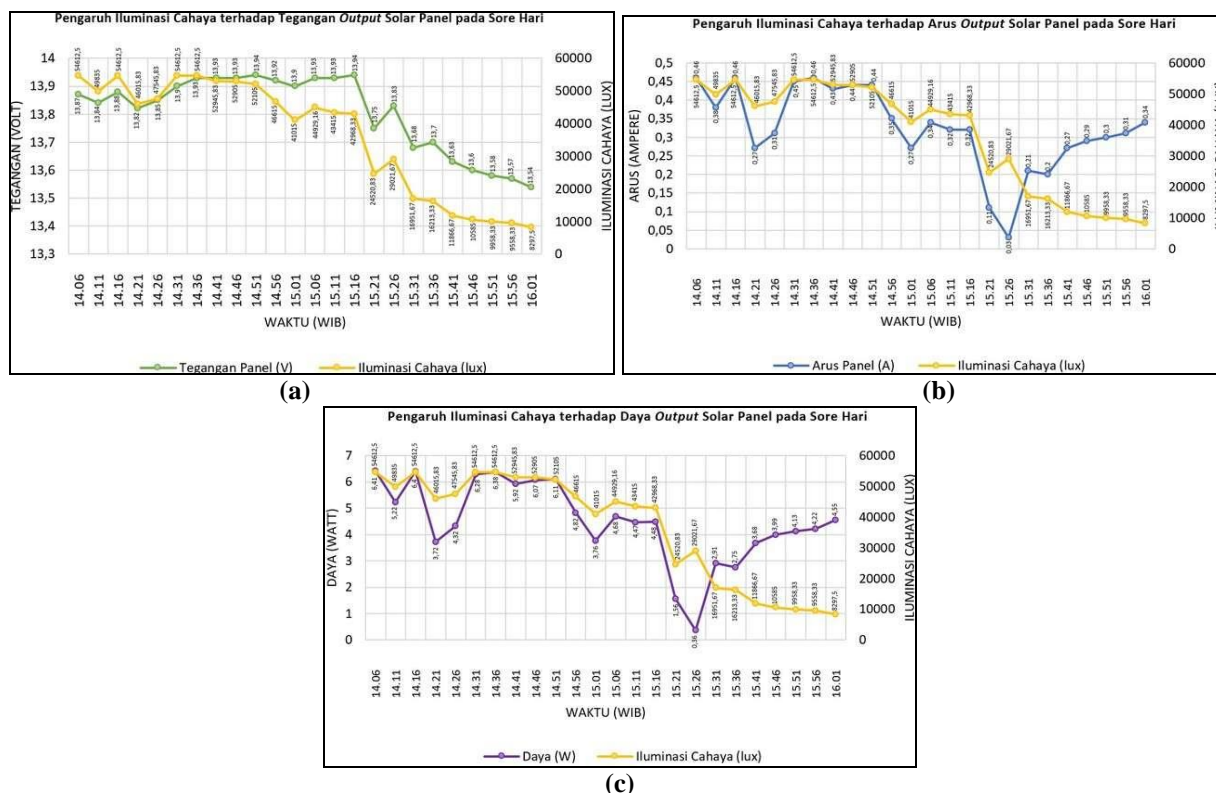
Pengaruh iluminasi cahaya terhadap tegangan, arus, dan daya *output* solar panel pada pagi hari dianalisis dari hasil pengujian sensor iluminasi cahaya terhadap sensor tegangan dan arus yang dilakukan antara pukul 10.05 – 14.01 WIB. Hasil analisis ini ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 9.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Iluminasi Cahaya terhadap: (a) Tegangan; (b) Arus; (c) Daya Output Solar Panel pada Siang Hari

Gambar 8 menunjukkan grafik pengaruh iluminasi cahaya terhadap tegangan, arus, dan daya *output* solar panel pada siang hari. Gambar 8 menunjukkan bahwa tegangan, arus, dan daya *output* solar panel pada siang hari meningkat seiring dengan meningkatnya iluminasi cahaya, meskipun peningkatannya tidak selalu bersifat linear. Iluminasi cahaya sebagian besar konstan sekitar 54.612,5 lux, namun mengalami penurunan signifikan pada pukul 11.05, 11.50, 12.15, dan 13.31 WIB, yang menyebabkan fluktuasi tajam pada tegangan, arus, dan daya *output*. Tegangan mencapai titik terendah 13,4 Volt pada pukul 11.05 dan puncaknya 13,9 Volt pada pukul 13.36, sementara arus berkisar antara 0,03 hingga 0,92 Ampere, dan daya *output* turun drastis hingga 0,39 Watt pada pukul 11.50 WIB.

Analisis Pengaruh Iluminasi Cahaya terhadap Tegangan, Arus, dan Daya Output Solar Panel pada Sore Hari



Gambar 9. Grafik Pengaruh Iluminasi Cahaya terhadap: (a) Tegangan; (b) Arus; (c) Daya Output Solar Panel pada Sore Hari

Gambar 9 menunjukkan grafik pengaruh iluminasi cahaya terhadap tegangan, arus, dan daya output solar panel pada sore hari. Gambar 9 menunjukkan grafik pengaruh iluminasi cahaya terhadap tegangan, arus, dan daya output solar panel pada sore hari. Tegangan output solar panel berkorelasi positif dengan iluminasi cahaya, mencapai nilai tertinggi 13,9 Volt pada pukul 14.31 ketika iluminasi cahaya mencapai 54.612,5 lux. Arus solar panel juga mencapai puncaknya pada sore hari, yaitu 0,46 Ampere pada pukul 14.06, sebelum menurun secara fluktuatif hingga mencapai 0,03 Ampere pada pukul 15.26. Daya output solar panel mencapai puncak sekitar 6,41 Watt pada pukul 14.06, sebelum menurun dan kemudian meningkat kembali menjadi sekitar 4,55 Watt pada pukul 16.01 WIB, meskipun iluminasi cahaya terus menurun. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa tegangan, arus, dan daya output solar panel dipengaruhi oleh iluminasi cahaya, dengan nilai-nilai yang cenderung menurun seiring penurunan iluminasi cahaya.

PENUTUP

Kesimpulan

Setelah merancang dan menguji Sistem *Monitoring* Solar Panel Berbasis *Ubidots*, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem *monitoring* solar panel berbasis *Ubidots* telah diuji dengan hasil memuaskan, di mana setiap komponen berfungsi dengan baik. Pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata tegangan, arus, dan daya solar panel bervariasi sepanjang hari: pagi hari (tegangan 13,47 Volt, arus 0,55 Ampere, daya 7,39 Watt, suhu 33,92°C, iluminasi 48.098,95 lux), siang hari (tegangan 13,68 Volt, arus 0,52 Ampere, daya 7,09 Watt, suhu 36,94°C, iluminasi 50.379,01 lux), dan sore hari (tegangan 13,81 Volt, arus 0,32 Ampere, daya 4,47 Watt, suhu 35,4°C, iluminasi 36.488,26 lux).

2. Berdasarkan perbandingan hasil pengujian sensor dengan alat ukur standar seperti multimeter, amperemeter analog, dan termometer digital, diperoleh nilai akurasi sensor tegangan DC sebesar 98,02%, sensor arus ACS712 sebesar 91,89%, dan sensor suhu DHT22 sebesar 95,79%.
3. Analisis menunjukkan adanya korelasi langsung antara tingkat iluminasi cahaya dan performa solar panel sepanjang hari, berdasarkan pemantauan dengan platform *Ubidots*. Pada pagi hari, peningkatan iluminasi cahaya saat matahari terbit menghasilkan tegangan, arus, dan daya *output* yang stabil meski ada fluktuasi kecil. Pada siang hari, meski iluminasi cahaya cenderung konsisten, penurunan drastis menyebabkan fluktuasi signifikan pada tegangan dan arus *output*, mengindikasikan penurunan performa. Pada sore hari, penurunan iluminasi cahaya menyebabkan penurunan tegangan dan arus *output*, menunjukkan bahwa solar panel bekerja optimal saat iluminasi cahaya maksimal.

Saran

1. Menggunakan koneksi internet yang stabil untuk menghubungkan koneksi ke platform *Ubidots* agar pengiriman data *real-time* dan tidak terjadi *delay*.
2. Melakukan pengujian solar panel sebaiknya dilakukan pada saat cuaca sedang cerah dan tidak hujan atau pun mendung sepanjang hari karena berpengaruh kinerja terhadap solar panel.
3. Memperbanyak dan memperbaiki kalibrasi terhadap sensor yang digunakan terutama sensor analog karena berpengaruh terhadap akurasi sensor untuk melakukan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Sutikno, J. Alfahri, and H. S. Purnama, "Monitoring Tegangan dan Arus Pada Panel Surya Menggunakan IoT," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 153, Jun. 2023, doi: 10.24843/mite.2023.v22i01.p20.
- [2] D. Pratama and A. Asnil, "Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno," *MSI Trans. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mited.v2i1.46.
- [3] I. Zahra, T. Dewi, M. Faqih Ulinuha, W. Ajis Mustofa, A. Kurniawan, and F. A. Rakhmadi, "Smart Farming: Sistem Tanaman Hidroponik Terintegrasi IoT MQTT Panel Berbasis Android," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 9, no. 1, p. 2021, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.08>
- [4] C. L. Aritonang, Maison, and Y. R. Hais, "Sistem Monitoring Tegangan, Arus, Intensitas Cahaya Pada Panel Surya Dengan Thingspeak," *J. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 11–24, 2020.
- [5] M. Fernando, L. Jasa, and R. S. Hartati, "Monitoring System Kecepatan dan Arah Angin Berbasis Internet of things (IoT) Menggunakan Raspberry Pi 3," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 135, 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p18.
- [6] I. W. B. Saputra, A. I. Weking, and L. Jasa, "Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Kincir Overshot Wheel," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 2, p. 48, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i02p09.
- [7] H. A. Illias, N. S. Ishak, H. Mokhlis, and M. Z. Hossain, "IoT-Based Hybrid Renewable Energy Harvesting System From Water Flow," *PECon 2020 - 2020 IEEE Int. Conf. Power Energy*, pp. 204–208, 2020, doi: 10.1109/PECon48942.2020.9314412.
- [8] Y. Xu, C. Li, Z. Wang, N. Zhang, and B. Peng, "Load Frequency Control of a Novel Renewable Energy Integrated Micro-Grid Containing Pumped Hydropower Energy Storage," *IEEE Access*, vol. 6, no. c, pp. 29067–29077, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2826015.
- [9] S. P. Bihari *et al.*, "A Comprehensive Review of Microgrid Control Mechanism and Impact Assessment for Hybrid Renewable Energy Integration," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 88942–88958, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3090266.
- [10] A. U. Rehman *et al.*, "An Optimal Power Usage Scheduling in Smart Grid Integrated with Renewable Energy Sources for Energy Management," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 84619–84638, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3087321.
- [11] E. Du *et al.*, "The role of concentrating solar power toward high renewable energy penetrated power systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 6, pp. 6630–6641, 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2018.2834461.

-
- [12] F. M. Guangul and G. T. Chala, "Solar energy as renewable energy source: SWOT analysis," *2019 4th MEC Int. Conf. Big Data Smart City, ICBDS 2019*, no. January 2019, 2019, doi: 10.1109/ICBDSC.2019.8645580.
- [13] A. F. Guven, N. Yorukeren, E. Tag-Eldin, and M. M. Samy, "Multi-Objective Optimization of an Islanded Green Energy System Utilizing Sophisticated Hybrid Metaheuristic Approach," *IEEE Access*, vol. 11, no. February 2024, pp. 103044–103068, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3296589.
- [14] S. C. Ariadita and A. Ma'arif, "Development of an IoT-Monitoring and Control System for Solar Panel Surface Temperature Regulation Utilizing Water-Cooling Techniques," *Control Syst. Optim. Lett.*, vol. 1, no. 3, pp. 174–180, Oct. 2023, doi: 10.59247/csol.v1i3.44.
- [15] M. Ali and J. Windarta, "Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Energi Bersih yang Ramah Lingkungan," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 2, pp. 68–77, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.10059.
- [16] R. A. Yahya, C. Sari, and R. D. Laksono, "Prototype Sistem Monitoring Arus dan Tegangan Panel Surya Berbasis IoT Menggunakan Aplikasi BLYNK," *JE-UNISLA Electron. Control. Telecommunication, Comput. Inf. Power Syst.*, vol. 8, 2023.
- [17] M. Q. Taha, "Advantages and Recent Advances of Smart Energy Grid," vol. 9, no. 5, 2020, doi: 10.11591/eei.v9i5.2358.
- [18] B. Rajapandian and G. T. Sundarajan, "Evaluation of DC-DC Converter Using Renewable Energy Sources," vol. 11, no. 4, pp. 1918–1925, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i4.pp1918-1925.
- [19] M. Abdullahi, A. Abubakar, and I. Abubakar, "A review of building integrated photovoltaic : Case study of tropical climatic regions A review of building integrated photovoltaic : case study of tropical climatic regions," no. March, pp. 474–488, 2021, doi: 10.11591/ijpeds.v12.i1.pp474-488.
- [20] M. M. Rahman, J. Selvaraj, N. A. Rahim, and M. Hasanuzzaman, "Global modern monitoring systems for PV based power generation : A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, no. October, pp. 1–17, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.111.
- [21] E. H. Chahid, M. I. Oumhand, M. Fed, and M. Erritali, "Effect of Measurement Factors on Photovoltaic Cell Parameters Extracting," vol. 7, no. 1, pp. 50–57, 2017, doi: 10.11591/ijece.v7i1.pp50-57.
- [22] A. Halim, A. Fudholi, S. Phillips, and K. Sopian, "Review on Optimised Configuration of Hybrid Solar-PV Diesel System for Off-grid Rural Electrification," vol. 9, no. 3, pp. 1374–1380, 2018, doi: 10.11591/ijpeds.v9.i3.pp1374-1380.
- [23] O. A. Ahmad, H. Sayed, K. A. Jalal, D. Y. Mahmood, and W. H. Habeeb, "Design and implementation of an indoor solar emulator based low-cost autonomous data logger for PV system monitoring Corresponding Author :," vol. 10, no. 3, pp. 1645–1654, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i3.pp1645-1654.
- [24] A. A. Sneineh and W. A. Salah, "Design and implementation of an automatically aligned solar tracking system," vol. 10, no. 4, pp. 2055–2064, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i4.2055-2064.
- [25] A. Amir, A. Amir, H. S. Che, A. El Khateb, and N. A. Rahim, "Comparative Analysis of High Voltage Gain DC-DC Converter Topologies for Photovoltaic Systems," *Renew. Energy*, 2018.
- [26] S. Gorai, D. Sattianadan, V. Shanmugasundaram, S. Vidyasagar, and G. R. P. Kumar, "Investigation of voltage regulation in grid connected PV system," vol. 19, no. 3, pp. 1131–1139, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1131-1139.
- [27] K. L. Shenoy, C. G. Nayak, and R. P. Mandi, "Effect of partial shading in grid connected solar PV system with FL Controller," vol. 12, no. 1, pp. 431–440, 2021, doi: 10.11591/ijpeds.v12.i1.pp431-440.
- [28] T. Sutikno, H. S. Purnama, A. Pamungkas, A. Fadlil, I. M. Alsofyani, and M. H. Jopri, "Internet of things-Based Photovoltaics Parameter Monitoring System Using NodeMCU ESP8266," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 11, no. 6, pp. 5578–5587, Dec. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp5578-5587.
- [29] B. B. Rarumangkay, V. C. Poekoel, and S. R. U. A. Sompie, "Solar Panel Monitoring System Sistem," *J. Tek. Inform.*, vol. 16, no. 2, pp. 211–218, 2021.
- [30] A. C. Subrata, T. Sutikno, Sunardi, A. Pamungkas, W. Arsadiando, and A. R. C. Baswara, "A Laboratory Scale IoT-Based Measuring of The Solar Photovoltaic Parameters," *Int. J. Reconfigurable Embed. Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 135–145, Jun. 2022, doi: 10.11591/ijres.v11.i2.pp135-145.
- [31] D. Erwanto, D. A. Widhining K., and T. Sugiarto, "Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis
-

Internet of things,” *Multitek Indones. J. Ilm.*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.24269/mtkind.v14i1.2195.

- [32] W. Winasis, A. W. W. Nugraha, I. Rosyadi, and F. S. T. Nugroho, “Desain Sistem *Monitoring* Sistem Photovoltaic Berbasis *Internet of things* (IoT),” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 4, pp. 328–333, 2016, doi: 10.22146/jnteti.v5i4.281.
- [33] D. P. Susman, C. Rangkuti, and S. Novianto, “Designing, Manufacturing, and Testing of 50 Wp Solar Panel Monitor Equipment Using Arduino and *Internet of things*,” *J. Earth Energy Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.25105/jeeset.v6i1.14445.
- [34] T. D. Hendrawati, Y. D. Wicaksono, and E. Andika, “*Internet of things*: Sistem Kontrol-Monitoring Daya Perangkat Elektronika,” *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 3, no. 2, p. 177, 2018, doi: 10.31544/jtera.v3.i2.2018.177-184.
- [35] N. Soedjarwanto and G. Forda Nama, “*Monitoring* Arus, Tegangan dan Daya pada Transformator Distribusi 20 KV Menggunakan Teknologi *Internet of things*,” *J. EECCIS*, vol. 13, no. 3, pp. 128–133, 2019, [Online]. Available: <https://jurnaleeccis.ub.ac.id/>
- [36] I. Debararaja, christine L. B. dan Krisnadi, “Perancangan Prototype Sistem *Monitoring* Komparasi Jarak Jauh Sensor Suhu Menggunakan IoT Selama Masa Pandemi Covid-19 di Indonesia,” *Pengabd. Masy. Ipteks*, vol. 6, pp. 63–66, 2020.
- [37] M. Zaini, S. Safrudin, and M. Bachrudin, “Perancangan Sistem *Monitoring* Tegangan, Arus Dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis Iot,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, p. 139, 2020, doi: 10.24912/tesla.v0i0.9081.
- [38] V. Pravalika and C. Rajendra Prasad, “*Internet of things* Based Home *Monitoring* and Device Control Using Esp32,” *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 1 Special Issue 4, pp. 58–62, 2019.

Biodata Penulis

Tole Sutikno. Meraih gelar Sarjana Teknik dari Universitas Diponegoro pada tahun 1999, gelar Magister Teknik dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2004, dan gelar Doktor Falsafah dalam bidang Teknik Elektro dari Universiti Teknologi Malaysia pada tahun 2016. Ketiga gelar tersebut semuanya dalam bidang teknik elektro. Telah menjadi Profesor di UAD Yogyakarta, Indonesia, sejak Juli 2023, setelah sebelumnya menjabat sebagai Associate Professor pada Juni 2008. Saat ini, menjabat sebagai Pemimpin Redaksi TELKOMNIKA dan Embedded Systems and Power Electronics Research Group (ESPERG).

R. Sumantri Hardhianto. Seorang mahasiswa yang sedang menjalani studi pada S1 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan.

Hendril Satrian Purnama, S.T. Menyelesaikan S1 jurusan Teknik Elektro dari Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia, pada tahun 2017. Setelah itu, ia bergabung dengan Embedded Systems and Power Electronics Research Group (ESPERG) sebagai peneliti.