

SISTEM MONITORING OUTPUT DAYA LISTRIK PANEL SURYA TERINTEGRASI WEB SERVER

Firly Aprilia Putri, Aripriharta, Langlang Gumilar

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No.5, Sumbersari, Malang 65145 Indonesia

*Corresponding author, email: annisa.firly.1905366@students.um.ac.id

doi: 10.17977/um068.v4.i9.2024.5

Kata kunci

DevOps
Monitoring
Panel surya
Web server

Abstrak

Di Indonesia, durasi pemanenan energi sinar matahari berkisar 7-8 jam per hari. Sehingga dianggap mampu untuk menghasilkan listrik dengan fotovoltaik (PV). Pemantauan panel surya yang tepat dapat membantu mengidentifikasi dan memperbaiki masalah pada panel surya. Dalam upaya mengatasi permasalahan tersebut, maka pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah sistem monitoring *output* daya listrik panel surya yang terintegrasi dengan Web Server menggunakan *Internet of Things* yang memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan jarak jauh melalui smartphone dan PC. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode DevOps. Hasil penelitian menunjukkan sistem monitoring *output* daya listrik panel surya terintegrasi Web Server berjalan dengan baik dan mampu menampilkan data secara *real time* dengan waktu tunda ± 0.50 ms. Selanjutnya dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan dimulai pukul 08.00 hingga 16.00 dengan tegangan dan arus maksimum yang dihasilkan sebesar 5,13V dan 0,176A. Nilai efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya 10Wp sebesar 94.16%.

1. Pendahuluan

Di Indonesia, durasi pemanenan energi matahari berkisar antara 7-8 jam, dimulai pukul 08.00-16.00 per hari, karena letak negara Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa sehingga mendapat pasokan sinar matahari yang cukup sepanjang tahun dengan intensitas cahaya yang cukup tinggi sekitar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ setiap harinya (Suryanto, 2021). Ditinjau dari segi keuntungan, penggunaan panel surya dalam menghasilkan energi listrik tentu tidak terlepas dari upaya perawatan dan pemantauan secara berkala agar dapat meningkatkan efisiensi dan memastikan kinerja sistem. Pemantauan ini dapat membantu mengidentifikasi dan memperbaiki masalah pada panel surya seperti kerusakan pada sistem kelistrikan atau kerusakan pada sel fotovoltaik. Pemantauan yang tepat juga membantu mengoptimalkan dan memaksimalkan pemanenan hasil konversi energi menjadi listrik oleh panel surya. Penggunaan panel surya yang tidak terpantau dengan baik dapat mengakibatkan hilangnya sebagian energi listrik yang dihasilkan atau bahkan kerusakan yang tidak terdeteksi. Maka dari itu, dibutuhkan sebuah sistem pemantauan untuk memonitor output daya listrik dari panel surya secara *real time* untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, mengukur kinerja sistem yang dihasilkan, mengetahui waktu perawatan yang tepat dan memastikan panel surya beroperasi pada tingkat efisiensi tertinggi. Penelitian ini akan mengembangkan sebuah sistem monitoring output daya listrik dari panel surya yang terintegrasi dengan web server menggunakan *Internet of Things* dan memungkinkan pengguna melakukan pemantauan jarak jauh melalui smartphone dan personal computer (PC). Dengan adanya sistem monitoring ini, diharapkan pengguna dapat mengoptimalkan penggunaan energi listrik dari panel surya secara *real time* dari jarak jauh, menghitung nilai efisiensi panel surya, dan mendeteksi masalah lebih cepat.

2. Metode

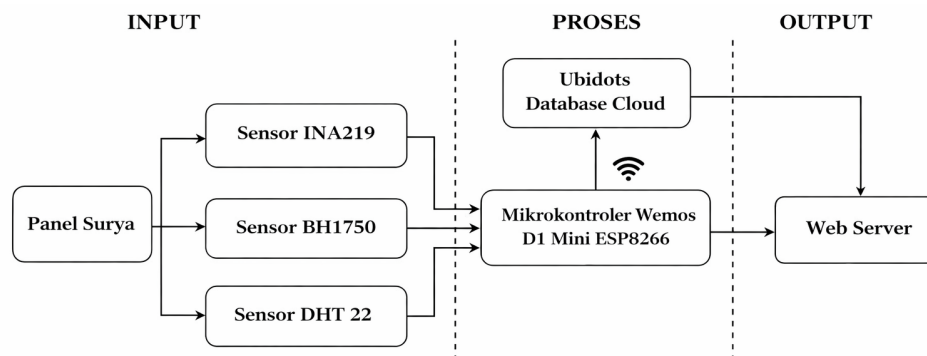
Penelitian ini menggunakan metode DevOps yang menekankan kolaborasi dan komunikasi antara pengembangan (development) dan pengoperasian (operation) sistem agar lebih efektif dan efisien. Metode DevOps juga digunakan karena dapat mempercepat proses pengiriman data dan membantu dalam mendeteksi masalah ketika terjadi kesalahan. Terdapat 8 tahapan dalam metode DevOps, yang meliputi perencanaan, pengodingan, pengembangan, pengujian, perilisan, penerapan, pengoperasian, pemantauan (Alnafessah dkk., 2021). Penelitian ini melibatkan komponen hardware

dan software, sehingga metodologi DevOps tepat digunakan untuk mengoptimalkan pengembangan dan pengoperasian sistem agar lebih efektif dan efisien serta sesuai dengan tujuan penelitian, yakni menghasilkan dan menguji sistem pemantauan output daya listrik yang dikonversi dari panel surya. Alat dan bahan dalam penelitian ini digunakan untuk pengumpulan, pengiriman, dan pemrosesan data pada sistem. Komponen utama yang digunakan yaitu panel surya 10 Wp jenis Polycrystalline Silicon, mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP8266, sensor INA219, sensor BH1750, sensor DHT22. Tabel 1 merupakan spesifikasi dari panel surya.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya 10Wp

Kategori	Keterangan
Rating Daya (1000W/ 25°C)	$P_{mp} = 10$ Watt
Tegangan Saat Daya Maksimum	$V_{mp} = 17.4$ Volt
Arus Saat Daya Maksimum	$I_{mp} = 0.65$ Ampere
Tegangan Rangkaian Terbuka	$V_{oc} = 21.6$ Volt
Arus Hubung Singkat	$I_{sc} = 0.61$ A
Tegangan Sistem Maksimum	1000 Volt
Koefisien Suhu pada Daya Maksimum	-0.47°C
Suhu Pengoperasian	-40°C - 85°C
Peringkat Sekering Seri Maksimum	15A
Dimensi Sel Surya	380 x 310 x 17 mm

Perancangan hardware meliputi rangkaian komponen yang terhubung dan terintegrasi membentuk sebuah sistem monitoring yang bertujuan mendapatkan hasil rancangan yang beroperasi sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 1. memperlihatkan diagram blok sistem dengan panel surya dan sensor menjadi masukan sistem. Pada tahap proses terdapat mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP8266 yang digunakan untuk mengolah data dari sensor dan memiliki fungsi tambahan sebagai modul Wi-Fi untuk mengirim dan menerima data secara nirkabel agar dapat dikirim ke database server, yaitu Ubidots cloud database. Data yang tersimpan pada database akan ditampilkan pada web server sebagai output sistem.



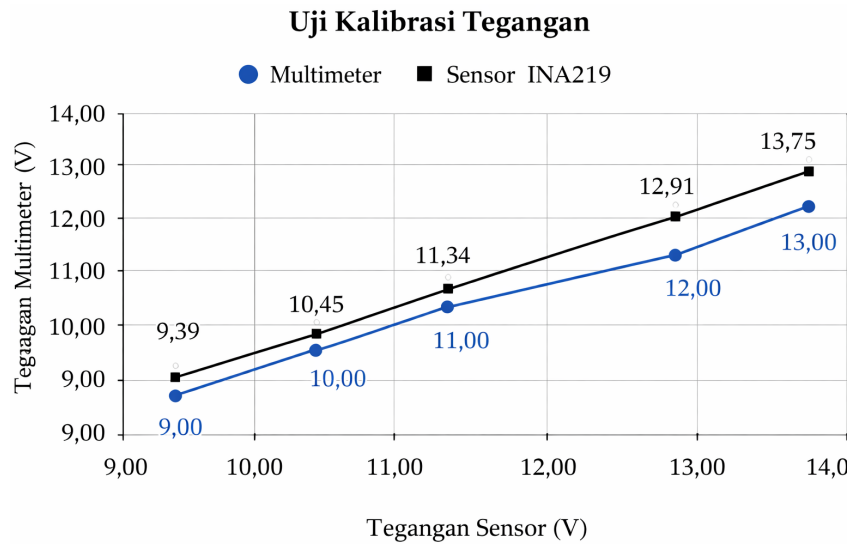
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

3. Hasil Dan Pembahasan

Pada pengujian awal, dilakukan uji kalibrasi pada masing-masing sensor untuk meningkatkan akurasi nilai sensor yang akan digunakan pada pengujian sistem. Setelah itu, pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui keandalan sistem dan keakuratan pembacaan masing-masing sensor.

3.1. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai tegangan yang terbaca oleh sensor INA219 pada software Arduino IDE terhadap nilai tegangan yang terbaca oleh multimeter digital. Tahapan pengujian diawali dengan menghubungkan power supply DC dan memberikan variasi input tegangan dari tegangan rendah sampai tegangan tinggi antara 9 V hingga 13 V.

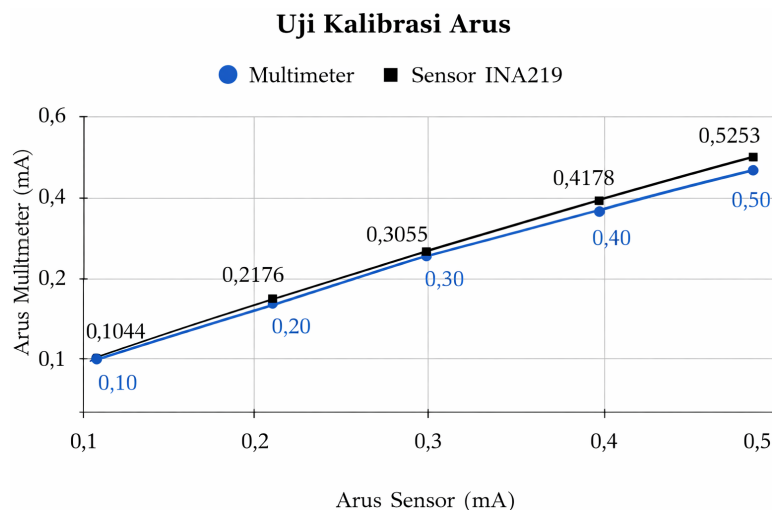


Gambar 2. Grafik Perbandingan Pengujian Sensor Tegangan

Hasil pengujian terlihat pada Gambar 2 yang menunjukkan masih terdapat perbedaan nilai tegangan antara sensor INA219 dan multimeter digital yang diakibatkan oleh adanya faktor suhu lingkungan, noise pada mikrokontroler, serta perbedaan sensitivitas dalam pembacaan sensor tegangan dengan nilai selisih rata-rata sebesar 0,56 dan nilai galat rata-rata sebesar 5% dengan tingkat akurasi 95%.

3.2. Pengujian Sensor Arus

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran perangkat sistem yang terhubung dengan mikrokontroler dengan multimeter digital dengan cara menghubungkan power supply DC dan memberikan tegangan yang divariasikan antara 9 V hingga 13 V dengan perbedaan tetap. Arus maksimum yang dapat dideteksi oleh sensor INA219 adalah 3,2 A.

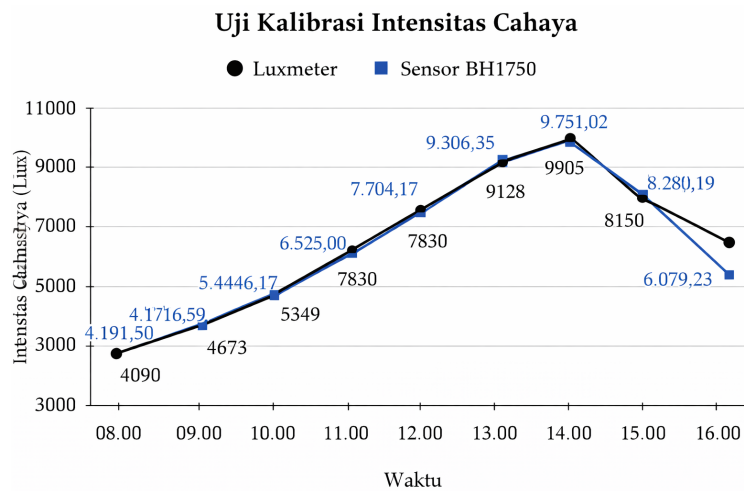


Gambar 3. Grafik Perbandingan Pengujian Sensor Arus

Hasil pengujian seperti pada Gambar 3 tersebut diketahui terdapat selisih pengukuran nilai arus sensor INA219 dengan multimeter digital sebesar 0,01 dan galat rata-rata sebesar 4,8% dengan tingkat akurasi sebesar 95,12%. Grafik tersebut menunjukkan bahwa pengukuran tumpang tindih sehingga pembacaan sensor mendekati pembacaan dengan multimeter digital, namun masih terdapat kesalahan pembacaan di beberapa titik tertentu.

3.3. Pengujian Sensor Intensitas Cahaya

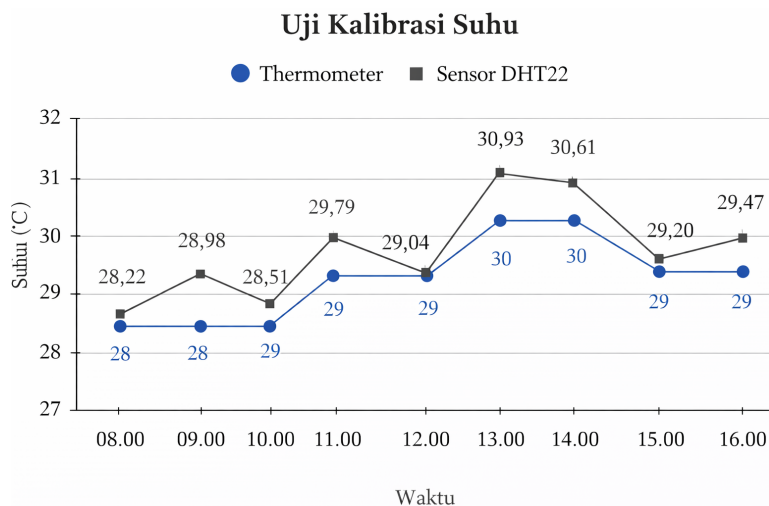
Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai yang terukur oleh sensor BH1750 dengan alat ukur luxmeter. Dari hasil pengujian seperti Gambar 4, diketahui waktu pengujian dilakukan setiap 1 jam dari pukul 08.00 hingga 16.00 untuk melihat perbedaan intensitas cahaya pada saat matahari mulai bersinar cerah hingga cahaya matahari mulai redup pada sore hari, dan didapatkan nilai selisih rata-rata sebesar 108,65 dan nilai rata-rata galat sebesar 6,3% dengan tingkat akurasi sebesar 92,9%. Sensor BH1750 mampu mengukur maksimal 55.000 lux. Apabila nilai intensitas cahaya yang diserap oleh sensor BH1750 lebih dari itu, maka data tidak dapat terbaca (Perdana & Hasyim Rosma, 2017).



Gambar 4. Grafik Perbandingan Sensor Intensitas Cahaya

3.4. Pengujian Sensor Suhu

Pada pengujian ini, suhu yang diukur adalah suhu lingkungan di sekitar panel surya. Pengujian sensor suhu menggunakan modul DHT22 dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor dengan termometer digital.

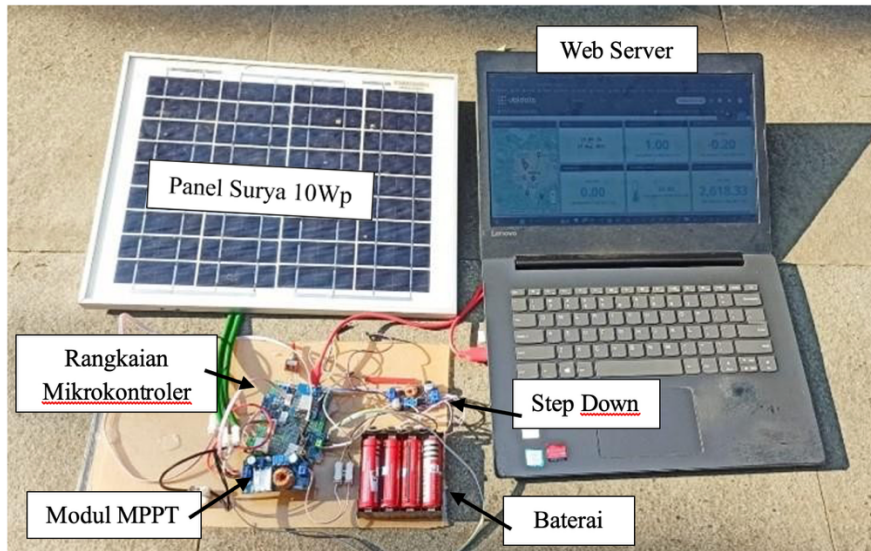


Gambar 5. Grafik Perbandingan Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan setiap 1 jam dengan 9 kali percobaan dari pukul 08.00 hingga 16.00. Dari hasil pengujian sensor arus didapatkan nilai selisih rata-rata sebesar 0,53 dan nilai rata-rata galat 1,8% dengan tingkat akurasi 98%, maka sensor DHT22 dianggap mampu beroperasi dengan baik untuk digunakan dalam pengambilan data saat pengujian sistem secara keseluruhan. Gambar 5. merupakan grafik hasil perbandingan sensor suhu.

3.5. Pengujian Sistem Tanpa Beban

Setelah dilakukan uji kalibrasi pada setiap sensor, selanjutnya adalah pengujian sistem secara menyeluruh agar dapat mengetahui apakah mikrokontroler dapat bekerja dengan baik dalam menerima data dari setiap parameter hingga mengirim data ke Web Server dan melihat pengaruhnya terhadap daya output dari panel surya.



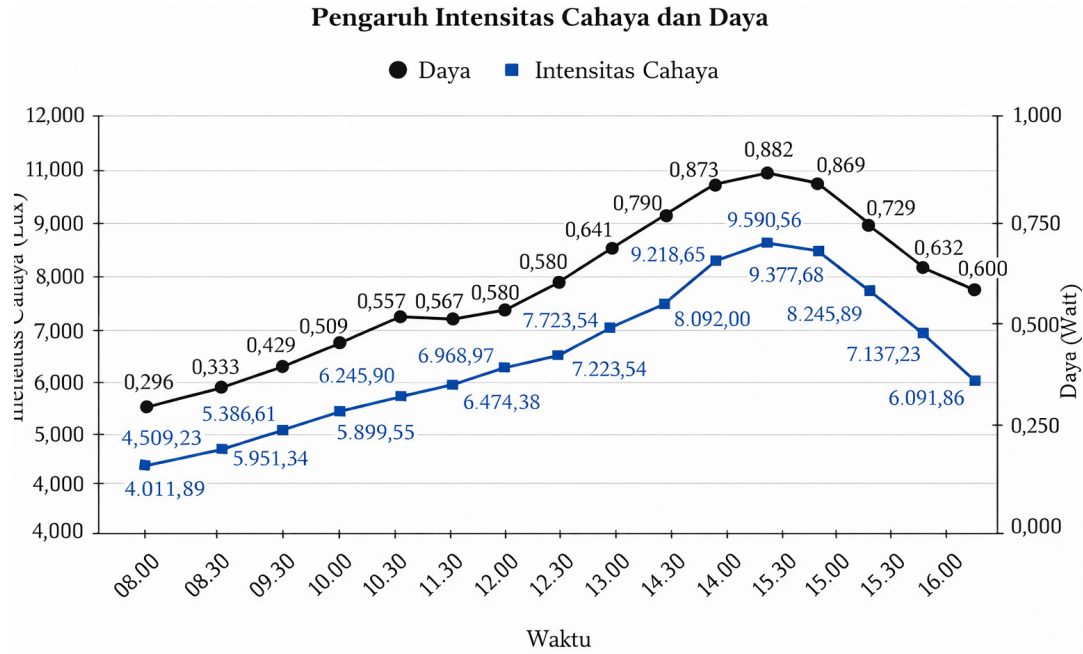
Gambar 6. Pengambilan Data Monitoring Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem (Tanpa Beban)

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem (Tanpa Beban)

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (mW)	Intensitas Cahaya (Lux)	Radiasi Matahari (Watt/m ²)	Suhu (°C)
08.00	5,01	0,059	0,296	4.011,89	38,07	28,17
08.30	5,12	0,069	0,353	4.509,23	38,97	28,34
09.00	5,03	0,076	0,382	4.951,34	40,29	28,92
09.30	5,05	0,085	0,429	5.386,61	41,54	29,03
10.00	5,09	0,100	0,509	5.899,55	45,36	29,19
10.30	5,11	0,111	0,567	6.245,90	52,28	29,56
11.00	5,06	0,110	0,557	6.474,38	59,95	29,65
11.30	5,13	0,113	0,580	6.968,97	64,53	29,93
12.00	5,09	0,126	0,641	7.198,96	66,66	30,17
12.30	5,08	0,143	0,726	7.723,54	71,51	30,21
13.00	5,04	0,157	0,790	8.092,00	74,92	30,46
13.30	5,13	0,170	0,872	9.218,65	85,36	30,21
14.00	5,01	0,176	0,882	9.590,56	88,74	29,98
14.30	5,11	0,170	0,869	9.377,68	86,83	29,81
15.00	4,99	0,146	0,729	8.245,89	76,35	29,78
15.30	4,98	0,127	0,632	7.137,23	66,08	29,45
16.00	5,00	0,120	0,600	6.091,86	56,36	29,14

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan pada hari Sabtu, 20 Mei 2023, dengan kurun waktu 8 jam, dari pukul 08.00-16.00 dan dilakukan di halaman Gedung B11 Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang yang ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil pengujian dirangkum dengan cara mengambil sampel data setiap 30 menit. Tabel 2. memperlihatkan hasil pengujian sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian didapatkan pada saat cuaca sedang cerah menunjukkan bahwa nilai tegangan tetap stabil dengan rentang nilai 4,98 V hingga 5,13 V. Parameter arus terukur dengan nilai tertinggi yaitu 0,176 A dan nilai terendah 0,059 A. Dari data pengujian sistem diketahui bahwa nilai daya maksimal didapatkan sebesar 0,882 W pada pukul 14.00 dengan nilai intensitas cahaya sebesar 9.590,56 lux pada suhu 29,98 °C. Hasil pengujian dipengaruhi oleh suhu pada panel surya, intensitas cahaya matahari dan posisi letak panel surya terhadap arah datangnya cahaya matahari (Fachri dkk., 2015). Daya keluaran panel surya bergantung pada intensitas cahaya matahari yang mampu diserap oleh sel fotovoltaik, yang berakibat jumlah foton akan meningkat sehingga jumlah elektron yang terlepas akan menghasilkan arus listrik. Berdasarkan grafik pada Gambar 3. Intensitas cahaya paling besar terjadi pada pukul 14.00 sebesar 9.590,56 lux dan mampu menghasilkan daya listrik sebesar 0,88 W.

Mulai pukul 14.30, nilai intensitas cahaya mulai menurun, yang diakibatkan oleh sinar matahari yang mulai redup, sehingga daya yang dihasilkan juga mengalami penurunan, yang memperlihatkan adanya pengaruh intensitas cahaya terhadap energi yang dihasilkan berbanding lurus: semakin banyak panel surya menangkap sinar matahari, semakin banyak listrik yang dihasilkan. Sekitar 15-20% energi matahari yang diserap panel surya diubah menjadi listrik, sisanya dihasilkan sebagai panas, yang menyebabkan suhu permukaan panel surya naik (Gomaa dkk., 2020).



Gambar 7. Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya dan Daya

3.6. Pengujian Sistem Berbeban

Pengujian sistem berbeban dilakukan dengan beban resistor, di mana resistor yang digunakan adalah 56 Ω, 39 Ω, dan 22 Ω. Menurut kaidah pengukuran arus, sumber daya dan beban akan diukur secara seri. Namun, saat mengukur tegangan, tegangan diukur secara paralel antara sumber daya dan beban. Saat menguji sensor arus, pengukuran dilakukan berdasarkan nilai resistor beban.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Daya

Parameter	Resistor 56Ω	Resistor 39Ω	Resistor 22Ω
Perhitungan	0,4W	0,6W	1,1W
Multimeter Digital	0,4W	0,60W	1,10W
Sensor INA219	0,447W	0,641W	1,136W

Nilai resistor akan memengaruhi besar arus yang mengalir melalui resistor tersebut. Semakin kecil resistornya, semakin tinggi arus yang mengalir, dan sebaliknya. Hal ini akan memengaruhi rentang pengukuran sensor INA219. Sensor tersebut dirancang untuk mengukur arus dalam rentang tertentu, yaitu 0–26 V dan 0–3,2 A. Jika arus melebihi batas rentangnya, maka pengukuran akan tidak akurat atau bahkan sensor dapat rusak.

3.7. Perhitungan Output Panel Surya

Perhitungan output panel surya melibatkan perhitungan daya input (P_{in}) yang merupakan daya yang diterima oleh panel surya dari sinar matahari, fill factor (FF) yang menggambarkan efisiensi konversi daya panel surya, dan daya output (P_{out}) untuk dapat diketahui berapa nilai efisiensi (η) yang dihasilkan oleh panel surya 10 Wp dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Perhitungan daya masukan panel surya dilakukan menggunakan hasil pengujian sistem pada nilai intensitas cahaya matahari yang berada pada kondisi maksimum. Luas permukaan panel surya didapatkan dari spesifikasi panel surya yang digunakan sehingga dapat dihitung sebagai berikut.

$$P_{in} = I_r \times A$$

$$P_{in} = 10,45 \text{ Watt}$$

Selanjutnya, menghitung fill factor karena V_{mp} , I_{mp} , V_{oc} , dan I_{sc} didapatkan dari spesifikasi modul panel surya yang digunakan, maka fill factor didapatkan sebagai berikut.

$$FF = \frac{(V_{pm}) \cdot (I_{pm})}{(V_{oc}) \cdot (I_{sc})}$$

$$FF = 0,74$$

Pada perhitungan daya keluaran panel surya, daya output (P_{out}) dari panel surya adalah perkalian tegangan rangkaian terbuka (I_{sc}) dan arus hubung singkat (FF) yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik dihitung sebagai berikut.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$P_{out} = 9,84 \text{ Watt}$$

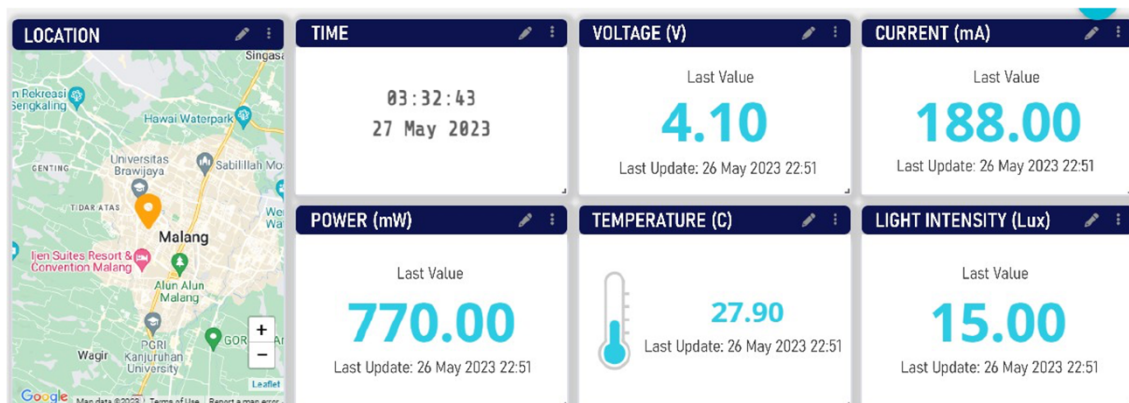
Setelah didapatkan nilai daya masukan dan keluaran dari panel surya maka dapat dilakukan perhitungan efisiensinya sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = 94,16\%$$

3.8. Tampilan Sistem Monitoring pada Web Server

Perancangan hasil sistem monitoring ditampilkan pada web server melalui platform Ubidots. Halaman utama pada dashboard Web Server terlihat pada Gambar 4 yang terdiri dari card lokasi tempat penelitian, card waktu dan tanggal, card 5 parameter pengukuran. Gambar 5 merupakan tampilan data hasil monitoring dalam bentuk tabel yang dapat diunduh oleh pengguna.



Gambar 8. Tampilan Menu Utama Monitoring Pada Web Server

Time	Voltage (V)	Current (mA)	Power (mW)	Light Intensity (Lux)	Temperature (C)
2023/05/26 10:51:39	4.10	188.00	770.00	15.00	27.90
2023/05/26 10:51:28	4.10	188.50	766.00	20.83	27.90
2023/05/26 10:51:18	4.10	187.60	766.00	88.33	27.90
2023/05/26 10:51:07	4.10	187.90	766.00	186.67	27.90
2023/05/26 10:50:57	4.10	187.70	766.00	1433.33	28.00
2023/05/26 10:49:45	4.09	187.70	764.00	6.67	28.00

Gambar 9. Tampilan Data Hasil Monitoring Pada Web Server

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan yang dijabarkan sebagai berikut: (1) Sistem monitoring output daya listrik panel surya terintegrasi Web Server berjalan dengan baik dan mampu menampilkan data secara real time dengan waktu tunda ± 0.50 ms yang dipengaruhi oleh kestabilan jaringan internet. Kesalahan pembacaan juga dapat terjadi karena ketidakstabilan sinyal yang ditangkap oleh mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP8266. (2) Untuk mengetahui sistem dapat berjalan dengan baik, maka dilakukan pengujian kalibrasi sensor dan didapatkan hasil: sensor INA219 menghasilkan galat sebesar 5% untuk tegangan dan 4,8% untuk arus, sensor BH1750 menghasilkan galat sebesar 6,3%; dan sensor DHT22 menghasilkan galat sebesar 1,8%. Selanjutnya, dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan dari pukul 08.00 hingga 16.00 dengan tegangan dan arus maksimum yang dihasilkan sebesar 5,13 V dan 0,176 A. Kemudian dilakukan pengujian dengan beban resistor 56 Ω , 39 Ω dan 22 Ω untuk mengetahui pengaruh beban terhadap rentang pengukuran pada sensor INA219. (3) Nilai efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya 10 Wp sebesar 94.16%. Dari hasil pengujian sistem, diketahui parameter intensitas cahaya matahari mengalami kenaikan secara konsisten mulai pukul 08.00 hingga pukul 16.00 dengan nilai maksimal sebesar 9.590,56 lux pada pukul 14.00 karena matahari sedang bersinar cerah sehingga dapat menghasilkan daya sebesar 0,882 W.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., & Haq, M. Z. (2021). Sistem monitoring penentuan pergerakan posisi panel surya terintegrasi internet of things. *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, 7(2), 102–108. <https://doi.org/10.35143/elementer.v7i2.5203>
- Alnafessah, A., Gias, A. U., Wang, R., Zhu, L., Casale, G., & Filieri, A. (2021). Quality-aware DevOps research: Where do we stand? *IEEE Access*, 9, 44476–44489. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3064867>
- Ansari, S., Ayob, A., Lipu, M. S. H., Saad, M. H. M., & Hussain, A. (2021). A review of monitoring technologies for solar PV systems using data processing modules and transmission protocols: Progress, challenges, and prospects. *Sustainability*, 13(15), 8120. <https://doi.org/10.3390/su13158120>
- Apriani, Y., & Saleh, Z. (2021). Monitoring arus dan tegangan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan Internet of Things. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 8(2), 889–896.
- Bhau, G. V., Deshmukh, R. G., Kumar, T. R., Chowdhury, S., Sesharao, Y., & Abilmazhinov, Y. (2021). IoT-based solar energy monitoring system. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.364>
- Fachri, M. R., Sara, I. D., & Away, Y. (2015). Pemantauan parameter panel surya berbasis Arduino secara real time. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 11(4), 123–128. <https://doi.org/10.17529/jre.v11i3.2356>
- Gomaa, M. R., Hammad, W., Al-Dhaifallah, M., & Rezk, H. (2020). Performance enhancement of grid-tied PV system through proposed design cooling techniques: An experimental study and comparative analysis. *Solar Energy*, 211, 1110–1127. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.10.062>
- Güney, T. (2022). Solar energy and sustainable development: Evidence from 35 countries. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 29(2), 187–194. <https://doi.org/10.1080/13504509.2021.1986749>
- Habiburosid, H., Indrasari, W., & Fahdiran, R. (2019). Karakterisasi panel surya hybrid berbasis sensor INA219. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2019 UNJ*, 8, 173–178. <https://doi.org/10.21009/03.SNF2019.02.PA.25>
- Hasrul, R. (2021). Analisis efisiensi panel surya sebagai energi alternatif. *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 5(2), 79–87.
- Jackson, N. D., & Gunda, T. (2021). Evaluation of the impacts of extreme weather on utility-scale photovoltaic plant performance in the United States. *Applied Energy*, 302, 117508. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117508>
- Khuriati, A. (2022). Sistem pemantau intensitas cahaya ambien dengan sensor BH1750 berbasis mikrokontroler Arduino Nano. *Berkala Fisika*, 25(3), 105–110.
- Kuriando, D., Noertjahyana, A., & Lim, R. (2017). Pendeteksi volume air pada galon berbasis internet of things dengan menggunakan Arduino dan Android. *Journal INFRA*, 5(2), 202–207.
- Kusuma, N. A. A., Yuniarti, E., & Aziz, A. (2018). Rancang bangun smarhome menggunakan Wemos D1 R2 Arduino compatible berbasis ESP8266 ESP-12F. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, 1(1). <https://doi.org/10.15408/fiziya.v1i1.8992>
- Leaman, C. (2015). The benefits of solar energy. *Renewable Energy Focus*, 16(5–6), 113–115. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2015.10.002>
- Lidya Aritonang, C., Hais, Y. R., & Maison. (2020). Sistem monitoring tegangan, arus, dan intensitas cahaya pada panel surya dengan Thingspeak. *Jurnal Engineering*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.22437/jurnalengineering.v2i1.8641>
- Marques, G., Ferreira, C. R., & Pitarma, R. (2018). A system based on the Internet of Things for real-time particle monitoring in buildings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 821. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040821>

- Mohamad, A., Mhamdi, H., Amin, N., Izham, M., Aziz, N., & Chionh, S. (2021). A review of automatic solar tracking systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 2051(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2051/1/012010>
- Perdana, A. K., & Hasyim Rosma, I. (2017). Analisis kalibrasi sensor BH1750 untuk mengukur radiasi matahari di Pekanbaru [Preprint]. Universitas Abdurrab. <https://doi.org/10.31227/osf.io/s6adt>
- Prakoso, R. D. (2018). Implementasi dan perbandingan performa Proxmox dalam virtualisasi dengan tiga virtual server. *Jurnal Manajemen Informatika*, 8(1), 79–85.
- Pratama, D. A., & Siregar, I. H. (2018). Uji kinerja panel surya tipe polycrystalline 100WP. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 6(3), 79–85.
- Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 10–14. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>
- Puspasari, F., Satya, T. P., Oktiwati, U. Y., Fahrurrozi, I., & Prisyanti, H. (2020). Analisis akurasi sistem sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap termohygrometer standar. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(1), 40–44. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5776>
- Rarumangkay, B. B., & Poekoel, V. C. (2021). Solar panel monitoring system. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(2), 211–218.
- Saptadi, A. H. (2014). Perbandingan akurasi pengukuran suhu dan kelembapan antara sensor DHT11 dan DHT22. *Jurnal Infotel*, 6(2), 49–56.
- Siregar, R. R. A., Wardana, N., & Luqman, L. (2017). Sistem monitoring kinerja panel listrik tenaga surya menggunakan Arduino Uno. *JETRI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 14(2), 81–100. <https://doi.org/10.25105/jetri.v14i2.1607>
- Suryanto, B. (2021). Sistem monitoring panel surya berbasis website. *MSI Transaction on Education*, 2(1), 7–18. <https://doi.org/10.46574/mted.v2i1.47>
- Syahab, A. S., Romadhon, H. C., & Hakim, M. L. (2019). Rancang bangun solar tracker otomatis pada pengisian energi panel surya berbasis Internet of things. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(2), 21–29. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.120>
- Tiyas, P. K., & Widartono, M. (2020). Pengaruh efek suhu terhadap kinerja panel surya. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 871–876.