



Sistem Monitoring Kinerja Panel Surya Secara Real Time Berbasis Web

Sulfikar^{1*}, A. Irmayani Pawelloi², Andi Muhammad Syafar³

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia

³Program Studi Teknik Informatika, UIN Alauddin Makassar, Indonesia

*Email : sulfikarruppii@gmail.com

Abstract: The use of solar energy is increasingly important in addressing climate change. This study designed a real-time web-based solar panel performance monitoring system by monitoring voltage, temperature and light intensity using Arduino Uno and ESP32 connected to Firebase. Testing was conducted for one day from 08.00-17.00 WITA. In the morning at 09.00, Panel 1 reached a maximum voltage of 22.43 V with a light intensity of 54,612.5 lux and a temperature of 38.4 °C, while Panel 2 reached 21.67 V with an intensity of 54,612.5 lux and a temperature of 39 °C, Entering the afternoon at 11.30, Panel 2 recorded the highest voltage of 22.82 V at an intensity of 54,612.5 lux and a temperature of 41 °C, while Panel 1 showed a voltage of 22.6 V with the same light conditions and a temperature of 39.7 °C. In the afternoon at 5:00 PM, both panels experienced a significant decrease, where Panel 1 dropped to 8.33 V with an intensity of 13,865 lux and a temperature of 28 °C, while Panel 2 dropped to 8.45 V with an intensity of 10,918.3 lux and a temperature of 28 °C. It can be concluded that high light is indeed important in producing electrical energy in solar panels but is not enough if it is not balanced with a relatively low temperature. Optimal conditions are achieved when maximum light is accompanied by a temperature that is not too high, with panel 2 showing slightly more stable performance than panel 1.

Keywords: *Solar Panel, Monitoring Real Time, Web IOT, Microcontroller, Firebase.*

1. PENDAHULUAN

Pada zaman yang modern ini, energi terbarukan menjadi fokus utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang tidak berkelanjutan (Siringo-ringo, 2024). Energi terbarukan seperti udara, air, matahari dan angin menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Dwisari, 2023). Diantara semua energi terbarukan energi matahari menonjol sebagai salah satu yang paling menjanjikan, terutama efesiensi dan efektivitasnya (Yusuf et al., 2024).

Pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS) memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan semakin mendapat perhatian yang meningkat di berbagai belahan dunia (Inayah et al., 2023). Panel surya atau disebut juga dengan solar panel merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Namun untuk memastikan efesiensi dan kinerja optimal dari panel surya, monitoring secara berkala sangat diperlukan (Pijoh, 2024). Saat ini dengan kemajuan teknologi informasi, sistem monitoring kinerja panel surya secara real time berbasis web menjadi solusi yang efektif dan efisien Meskipun demikian, kinerja panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain intensitas cahaya, suhu lingkungan, sudut kemiringan panel, serta kondisi kebersihan permukaan panel.

Intensitas cahaya yang tinggi memang sangat penting dalam menghasilkan energi listrik, namun suhu yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan efisiensi konversi energi (Daya *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pemantauan terhadap parameter-parameter yang memengaruhi kinerja panel surya menjadi hal yang penting dilakukan agar sistem dapat bekerja secara optimal (Saputra, 2024).

Adapun penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis dalam penelitian yang pertama dilakukan oleh (Lorobezy & Krismadinata, 2023). Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring PLTS off-grid berbasis IoT menggunakan Arduino Uno, ESP8266, sensor tegangan, sensor arus, sensor PZEM-004T, sensor DHT11, serta relay. Data dari sensor dikirim ke aplikasi Blynk, sehingga pengguna dapat memantau tegangan, arus, suhu, dan kelembapan secara real time melalui internet. Keunggulan dari penelitian ini adalah adanya kendali beban jarak jauh selain monitoring. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat bekerja dengan baik, meskipun kadang ada error akibat gangguan jaringan.

Sementara itu, (Pratama, 2021). Penelitian ini merancang sistem monitoring kinerja panel surya menggunakan Arduino Uno dengan sensor ACS712 (arus), DHT22 (suhu & kelembapan), BH1750 (intensitas cahaya), dan sensor tegangan. Data sensor diintegrasikan ke aplikasi PLX-DAQ yang terhubung ke Microsoft Excel sehingga hasil dapat ditampilkan dalam bentuk grafik secara real time. Sistem ini juga menggunakan solar tracker dua sumbu untuk meningkatkan efisiensi penyerapan cahaya matahari. Hasil uji coba menunjukkan data arus, tegangan, suhu, kelembapan, serta radiasi matahari dapat terbaca dengan baik dan divisualisasikan secara grafik. Namun, kelemahan sistem ini adalah masih bergantung pada komputer lokal (Excel), sehingga akses monitoring belum berbasis web.

Menuru (Abdurahman *et al.*, 2024). Penelitian ini merancang sistem monitoring panel surya menggunakan Arduino Uno yang dilengkapi sensor arus, tegangan, dan debu (DSM501A). Data dikirim melalui modul Wi-Fi ESP8266 menggunakan protokol UART-UDP ke aplikasi web berbasis PHP dan MySQL. Sistem dapat menampilkan parameter panel surya berupa tegangan, arus, dan kualitas udara secara real time dalam bentuk grafik melalui website. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem mampu memantau kinerja panel surya secara jarak jauh dengan akurasi yang baik, meskipun masih terdapat sedikit selisih antara pengukuran sensor dengan alat ukur manual.

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem monitoring kinerja panel surya secara real time berbasis web dengan memanfaatkan Arduino Uno, ESP32, dan Firebase untuk memantau tegangan, suhu, serta intensitas cahaya. Sistem ini diharapkan mampu menyajikan data secara akurat melalui tampilan web yang mudah diakses, sehingga mendukung pemanfaatan energi surya secara lebih efisien.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen rekayasa (experimental engineering) karna merancang sekaligus menguji sistem monitoring panel surya dan menampilkan data secara real time antarmuka web (Rauf et al., 2023). Mulai dari pengujian akurasi sensor dengan mikrokontroler dan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar, Selain itu, dilakukan uji kinerja sistem untuk memastikan kestabilan transmisi data yang dikirim ke firebase database, serta tampilan monitoring antarmuka web dalam menampilkan informasi, seperti sensor tegangan, suhu, dan intensitas cahaya secara real time.

2.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Parepare, Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan juni 2025 sampai bulan juli 2025.

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari berbagai komponen elektronik yang dirancang untuk monitoring kinerja panel surya secara real-time komponen-komponen tersebut dirinci pada Tabel 1.

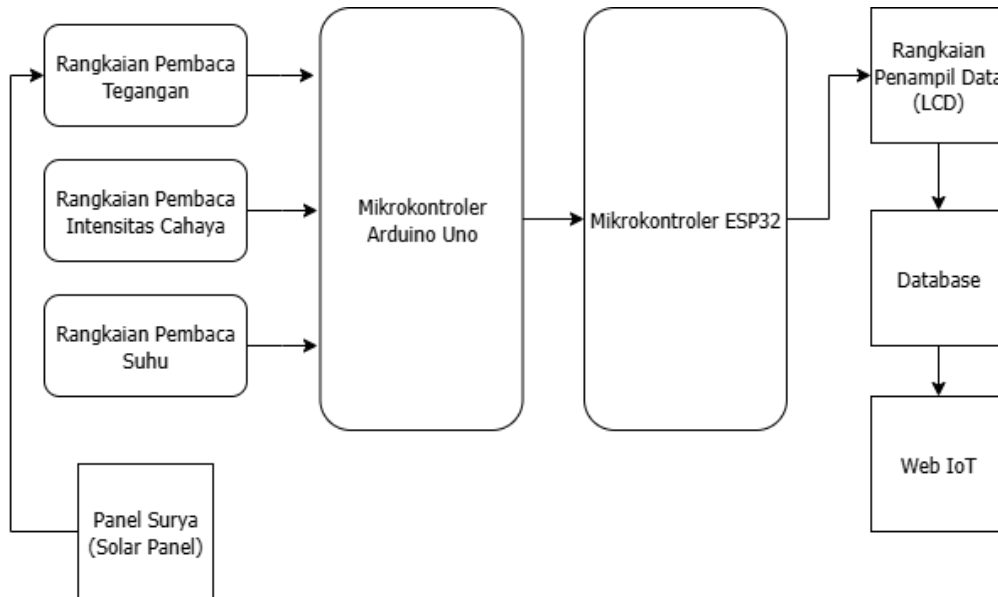
Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Nama Komponen	Fungsi
1	Panel Surya	Mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC.
2	Sensor Tegangan	Mengukur tegangan DC dari panel surya lalu mengirim data ke mikrokontroler.
3	Sensor Suhu	Mengukur suhu lingkungan di sekitar panel.
4	Sensor Cahaya	Mengukur intensitas cahaya matahari.
5	LCD	Menampilkan data hasil pengukuran (tegangan, suhu dan cahaya).
6	ESP32	Menerima data dari Arduino Uno
7	Arduino Uno	Menerima pembacaan dari sensor kemudian mengirim ke ESP32

2.4 Rancangan Sistem

Rancangan sistem pada penelitian ini disajikan dalam bentuk blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1 berupa sistem monitoring kinerja panel surya secara real time dengan menggunakan tiga sensor yaitu sensor tegangan digunakan untuk memantau kondisi tegangan pada berbagai titik dalam sistem seperti output panel surya, cahaya yang berfungsi untuk membaca intensitas cahaya matahari, sensor suhu yang berfungsi untuk memantau suhu lingkungan dan kelembaban di sekitar panel surya, adapun mikrokontroler yang digunakan ada dua yaitu Arduino Uno

bertindak sebagai penerima data dari ketiga sensor kemudian mengirim data ke ESP32, dan menggunakan koneksi wifi untuk mengirim data ke database IOT dan LCD digunakan untuk menampilkan informasi yang dibaca oleh Arduino Uno.



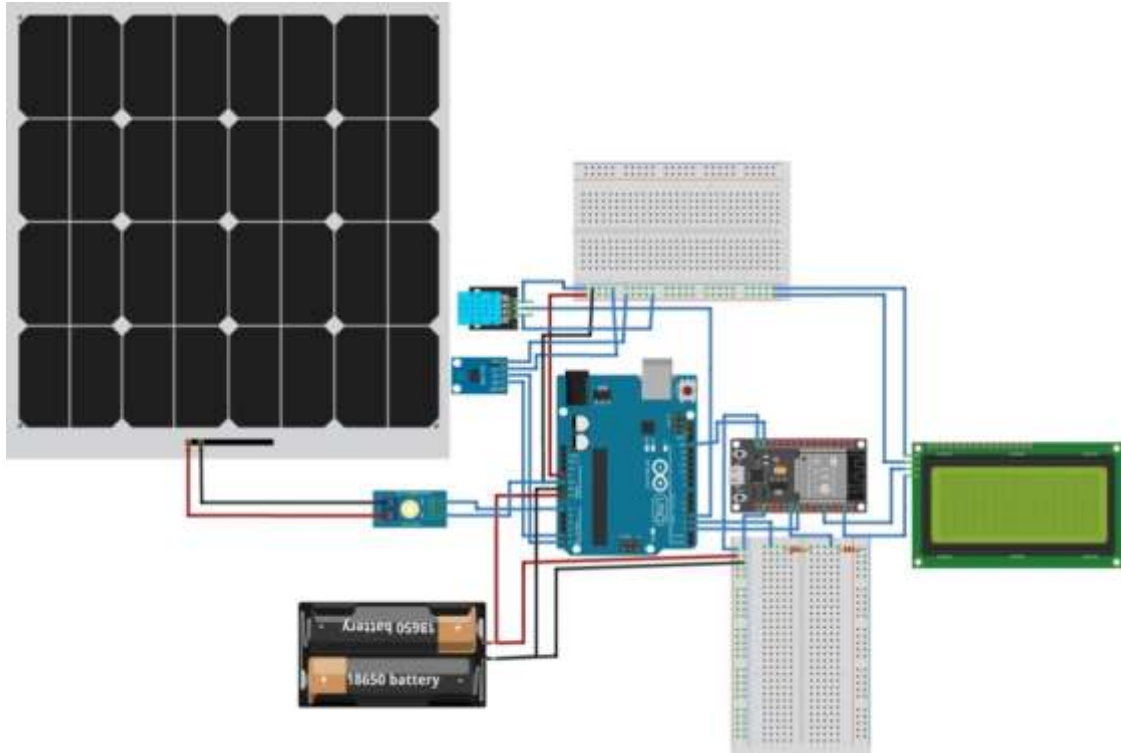
Gambar 1. Blok Diagram sistem Monitoring Kinerja Panel Surya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perancangan sistem terbagi atas dua bagian yaitu perancangan perangkat keras (Hardware) dan perangkat lunak (Software). Perangkat keras terdiri dari Panel surya, Arduino Uno, ESP32, sensor tegangan, sensor suhu, sensor cahaya, LCD 20x4 dan baterai.

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan sistem monitoring panel surya, dimulai dari penempatan dan pemasangan komponen-komponen yang digunakan dan diintegrasikan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Sistem monitoring PLTS

Pada Gambar 2 Rangkaian sistem monitoring panel surya ini bekerja dengan memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi utama yang menghasilkan tegangan DC sesuai intensitas cahaya matahari. Tegangan dari panel kemudian diukur menggunakan sensor tegangan, sementara sensor DHT11 digunakan untuk memantau suhu dan kelembapan lingkungan serta sensor BH1750 untuk mendeteksi intensitas cahaya yang diterima pada panel. Seluruh data dari sensor dibaca dan diproses oleh Arduino Uno, kemudian data yang telah diproses dikirimkan oleh Arduino ke modul ESP32 melalui komunikasi serial dan ditampilkan oleh LCD. ESP32 berfungsi sebagai penghubung ke jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan data ke Firebase database. Data yang tersimpan di Firebase database dapat diakses melalui antarmuka web sehingga monitoring dapat dilakukan secara real time dari jarak jauh. Untuk menjaga kestabilan sistem, digunakan baterai 18650 sebagai sumber daya. Dengan alur kerja ini, sistem mampu memberikan informasi kinerja panel surya secara akurat, baik melalui tampilan lokal pada LCD maupun melalui web yang dapat diakses kapan saja dan di mana saja. Realisasi fisik sistem monitoring panel surya ditunjukkan pada Gambar 3.



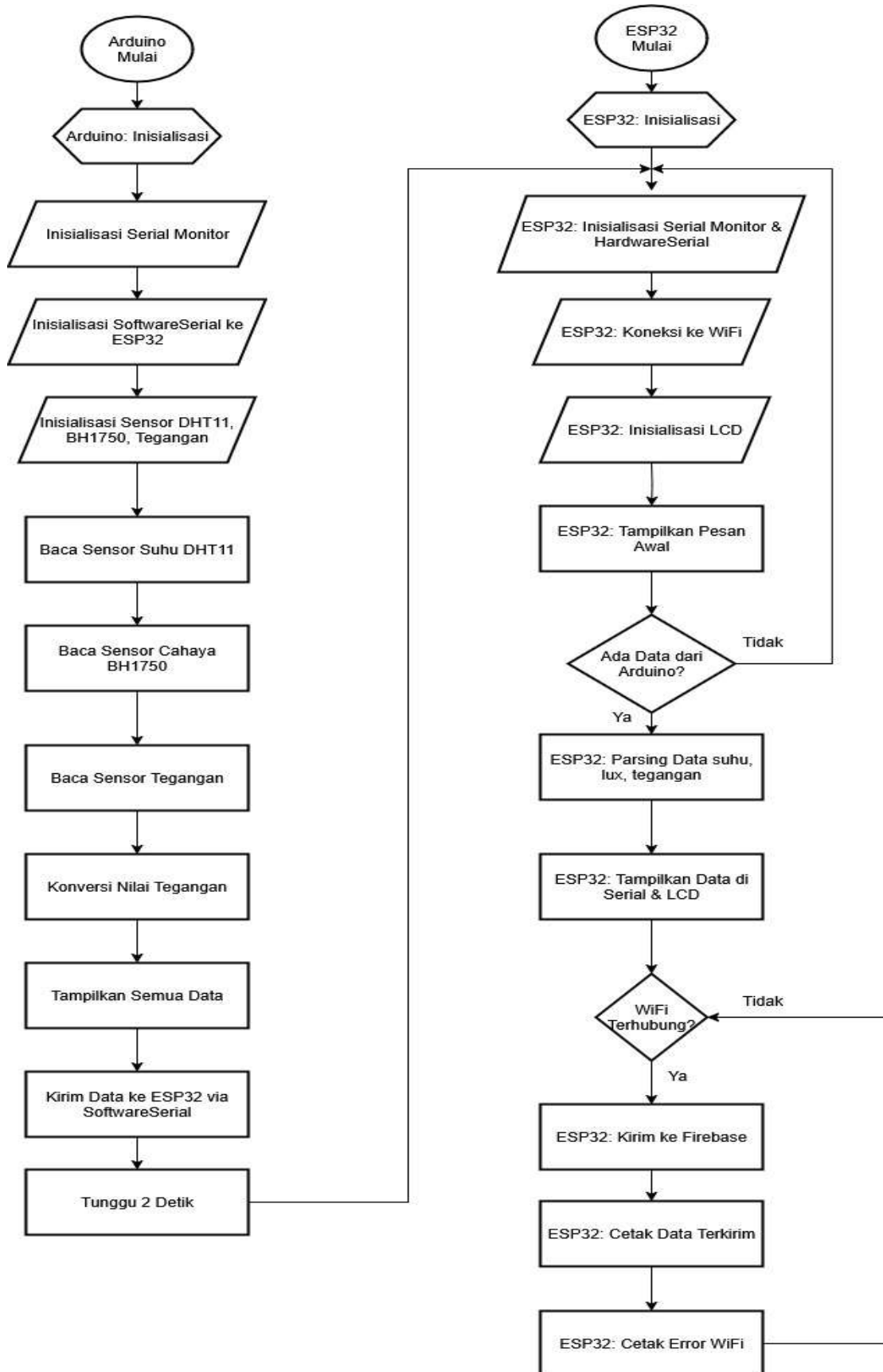
Gambar 3. Realisasi Sistem Monitoring Kinerja Panel Surya

3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem ini bertujuan untuk memantau perangkat keras yang terhubung. Pengembangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan dukungan beberapa library, yaitu *DHT.h*, *BH1750.h*, *LiquidCrystal_I2C.h*, dan *FirebaseESP32.h*. Program disusun ke dalam beberapa fungsi utama, meliputi inialisasi perangkat, pembacaan sensor, konversi data, serta pengiriman data. Alur sistem mengikuti flowchart pemrograman yang menjelaskan proses pengolahan data hingga pengirimannya ke database. Struktur database Firebase dirancang menggunakan format *JSON tree* dengan field utama berupa tegangan, suhu, dan intensitas cahaya, serta menggunakan tipe data float.

a. Diagram Alir (Flowchart)

Adapun gambar flowchart yang digunakan untuk penentuan program sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



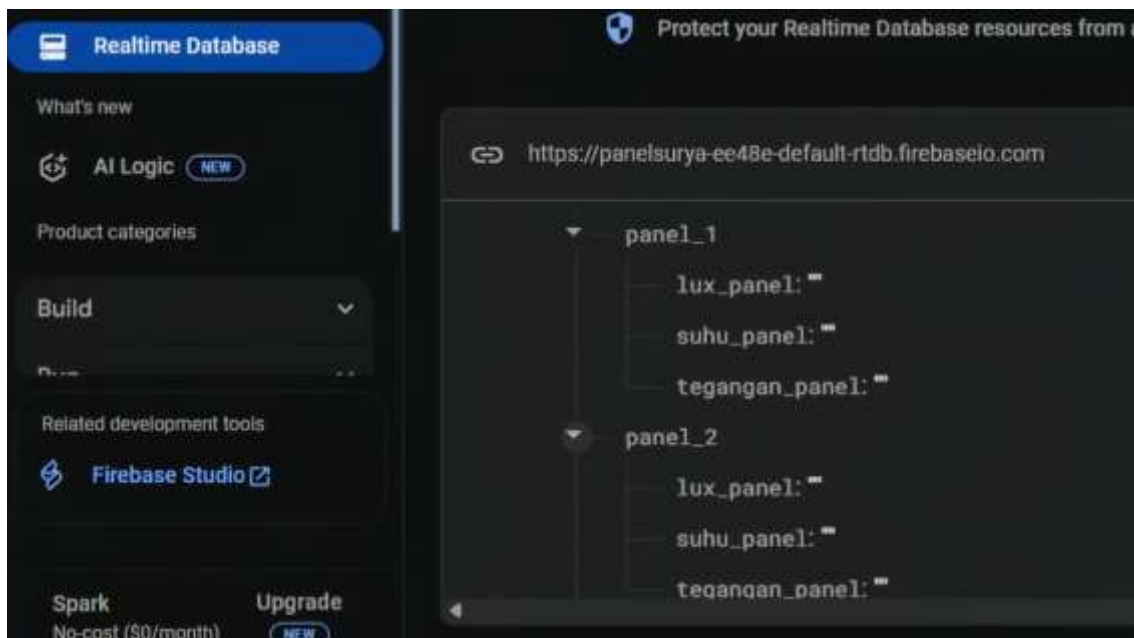
Gambar 4. Diagram Alir (Flowchart)

Gambar 4 menunjukkan alur kerja sistem monitoring panel surya yang terbagi menjadi dua bagian, yaitu proses pada Arduino Uno dan ESP32. Arduino Uno berfungsi untuk melakukan inisialisasi perangkat, *Serial Monitor*, komunikasi *SoftwareSerial*, serta sensor DHT11, BH1750, dan sensor tegangan. Data hasil pembacaan suhu, intensitas cahaya, dan tegangan kemudian dikonversi, ditampilkan pada *Serial Monitor*, dan dikirimkan ke ESP32 secara berkala dengan jeda dua detik.

ESP32 berperan sebagai pengendali komunikasi jaringan. Setelah melakukan inisialisasi *Serial Monitor*, *HardwareSerial*, WiFi, dan LCD, ESP32 menerima data dari Arduino, melakukan parsing, serta menampilkannya pada LCD. Jika koneksi WiFi tersedia, data diteruskan ke Firebase Database untuk ditampilkan secara real time pada aplikasi web. Namun, jika koneksi gagal, sistem akan menampilkan pesan error sebagai informasi.

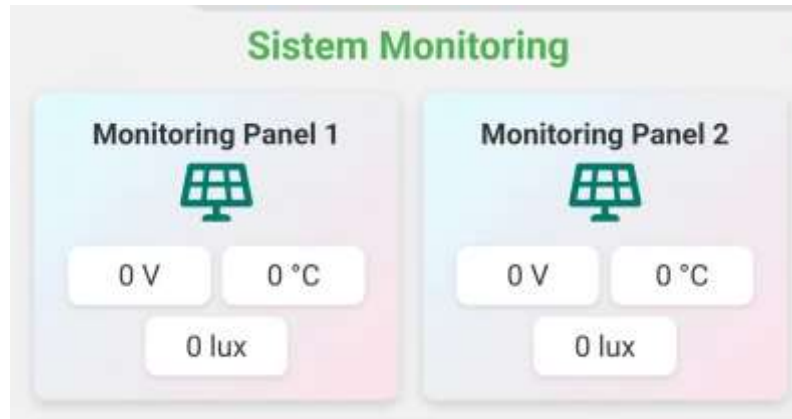
b. Desain Aplikasi Web

Desain realtime database ditunjukkan pada Gambar 5, yang menggambarkan struktur penyimpanan data sensor secara hierarki. Sementara itu tampilan antarmuka Aplikasi web yang menampilkan data hasil monitoring secara real time dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Tampilan Realtime Database.

Gambar 5 menunjukkan struktur database dalam format hierarki yang sederhana, di mana setiap panel surya memiliki node tersendiri, seperti `panel_1` dan `panel_2`, masing-masing panel memiliki parameter utama yang dimonitor, yaitu `lux_panel`, `suhu_panel` dan `tegangan_panel`.

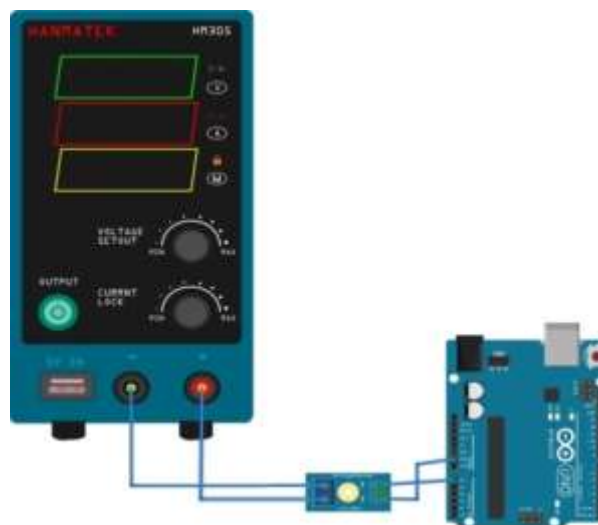


Gambar 6. Tampilan Aplikasi Web

Antarmuka aplikasi berbasis web pada sistem monitoring, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, menampilkan data sensor secara real-time melalui jaringan IoT. Aplikasi ini memiliki dua menu utama, yaitu *Monitoring Panel 1* dan *Monitoring panel 2*, yang menyajikan parameter penting berupa tegangan (V), suhu ($^{\circ}\text{C}$), dan intensitas cahaya (lux) dari panel surya untuk mendukung evaluasi kinerja sistem.

3.3 Pengujian Akurasi Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk memastikan bahwa sensor berfungsi dengan baik. Tujuan pengujian pada sensor tegangan yaitu untuk memastikan akurasi pengukuran mengidentifikasi kesalahan atau kerusakan pada sensor tersebut, alat pengujian yang digunakan antara lain multimeter untuk mengukur tegangan, sumber tegangan atau power supply yang digunakan untuk mengatur tegangan dan sensor tegangan di ukur menggunakan multimeter untuk mengetahui apakah sensor berfungsi dengan baik. Proses pengujian ditujukan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian Sensor Tegangan

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

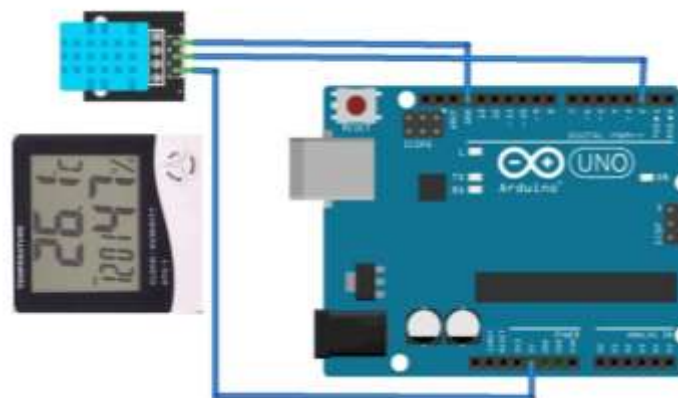
Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No.	Power Supply (Volt)	Hasil Pembacaan Sensor Tegangan (Volt)	Nilai Error (%)
1	2	2, 027	1,35
2	4	4, 027	0,67
3	6	6, 04	0,66
4	8	8, 08	1
5	10	10, 15	1,5
Rata-rata Error			1,04

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata error sebesar 1,04% atau setara dengan akurasi 98,96%. Error relatif lebih kecil pada rentang tegangan menengah (4-6V) dibandingkan pada tegangan rendah maupun tinggi, yang mengidentifikasi stabilitas sensor dalam kondisi operasional tertentu. Dengan demikian, sensor tegangan ini layak digunakan untuk sistem monitoring panel surya secara real-time.

3.4 Pengujian Akurasi Sensor Suhu

Rangkaian pengujian sensor suhu DHT11 ditunjukkan pada Gambar 8. Pada pengujian ini, sensor pada jarak ± 1 m dari sumber panas (*hotgun*) dengan variasi waktu pemanasan 10 s hingga 60 s. Sensor DHT11 dihubungkan ke pin digital mikrokontroler, sedangkan termometer digunakan sebagai alat pembanding. Hasil pengukuran keduanya ditampilkan pada tabel 3.



Gambar 8. Pengujian Sensor suhu

Berdasarkan Tabel 3, sensor DHT11 menunjukkan kinerja yang cukup akurat dibandingkan termometer referensi. Pada detik ke-10, error relatif besar (4,33%), namun pada pengukuran berikutnya nilai error cenderung menurun dan berada pada

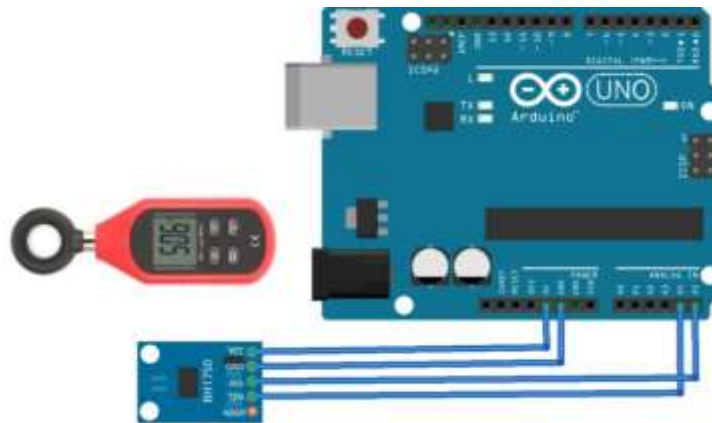
kisaran 1-3%, dengan nilai terkecil 1,05% pada titik ke-40. Fluktuasi error pada titik ke-20 (2,78%) dan ke-45 (3,03%) diperkirakan disebabkan oleh respon sensor terhadap perubahan suhu yang dinamis. Secara keseluruhan rata-rata error sebesar 2,52% atau akurasi 97,48%, sehingga sensor DHT11 dapat dikategorikan layak digunakan dalam sistem monitoring suhu secara *real-time*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Suhu

No	Waktu (second)	DHT11 (°C)	Termometer (°C)	Nilai error (%)
1	10	31,3	30	4,33
2	15	32,5	32	1,56
3	20	33,2	32,3	2,78
4	25	34,3	33,9	1,17
5	30	36,3	35	3,71
6	40	38,3	37,9	1,05
7	45	40,7	39,5	3,03
8	50	39,9	39	2,31
9	55	42,8	41,5	3,13
10	60	43,7	42,8	2,10
Rata-rata error				2,52

3.5 Pengujian Akurasi Sensor Cahaya

Pengujian sensor cahaya BH1750 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam mendeteksi intensitas cahaya. Pada pengujian ini, sensor BH1750 dibandingkan dengan lux meter sebagai alat referensi. Sumber cahaya berasal dari lampu ponsel, dengan posisi kedua sensor ditempatkan sejajar di depan lampu pada jarak bervariasi antara 7 cm hingga 29 cm. Setiap pengujian dilakukan sebanyak enam kali. Rangkaian pengujian ditunjukkan pada Gambar 9, sedangkan hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.



Gambar 9. Pengujian Sensor Cahaya

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, intensitas cahaya yang terbaca oleh sensor BH1750 cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber cahaya. Pada rentang jarak 7-17 cm, sensor menunjukkan performa yang baik dengan tingkat error relatif kecil, yaitu 0,21-0,88%. Namun, pada jarak lebih jauh (21-29 cm), tingkat error meningkat cukup signifikan, mencapai 6,64% pada jarak 21 cm dan 7,30% pada jarak 29 cm. Secara keseluruhan, rata-rata error sensor adalah 2,65%, yang setara dengan akurasi pengukuran sebesar 97,35%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor BH1750 memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk digunakan dalam sistem pemantauan intensitas cahaya pada panel surya, khususnya dalam aplikasi berbasis internet of Things (IoT). Dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah, sensor ini layak diimplementasikan pada penelitian maupun aplikasi praktis di bidang energi terbarukan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Cahaya

No	Jarak (cm)	Bh1750 (lux)	Lux Meter (lux)	Nilai Error %
1	7	1460	1473	0,88
2	14	472	471	0,21
3	17	352	349	0,86
4	21	225	241	6,64
5	26	164	164	0
6	29	147	137	7,30
Rata-rata				2,65

3.6 Pengujian Sistem Monitoring Kinerja Panel Surya

Pengujian kinerja sistem monitoring dilakukan pada rentang waktu 08.00-17.00 WITA dengan interval pengambilan data setiap 30 menit menggunakan dua panel surya. Parameter yang diamati meliputi tegangan keluaran (V), suhu (°C), dan intensitas cahaya (lux). Hasil pengukuran ditampilkan pada tabel 5, sedangkan grafik hubungan ketiga parameter ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.

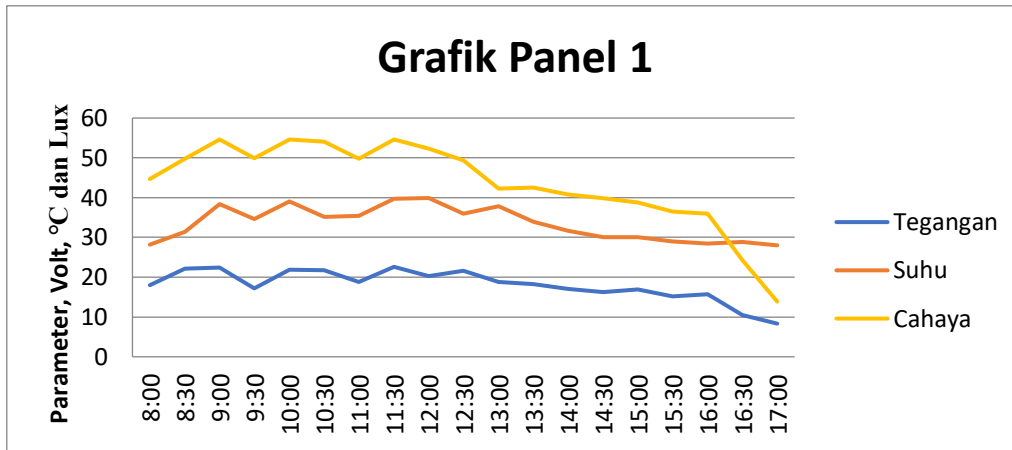
Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Monitoring Kinerja Panel Surya

Waktu	Panel Satu			Panel Dua		
	Tegangan (Volt)	Suhu (°C)	Cahaya (Lux)	Tegangan (Volt)	Suhu (°C)	Cahaya (Lux)
08.00	17,97	28,2	44640,8	17,7	30,5	39195,8
08.30	22,14	31,4	49777,5	20,43	31,3	44502,5
09.00	22,43	38,4	54612,5	21,67	39	54612,5
09.30	17,16	34,6	49851,7	20,36	33	49780
10.00	21,89	39,1	54612,5	19,99	34,2	48233,3
10.30	21,79	35,1	54040	20,96	35,8	48183,3

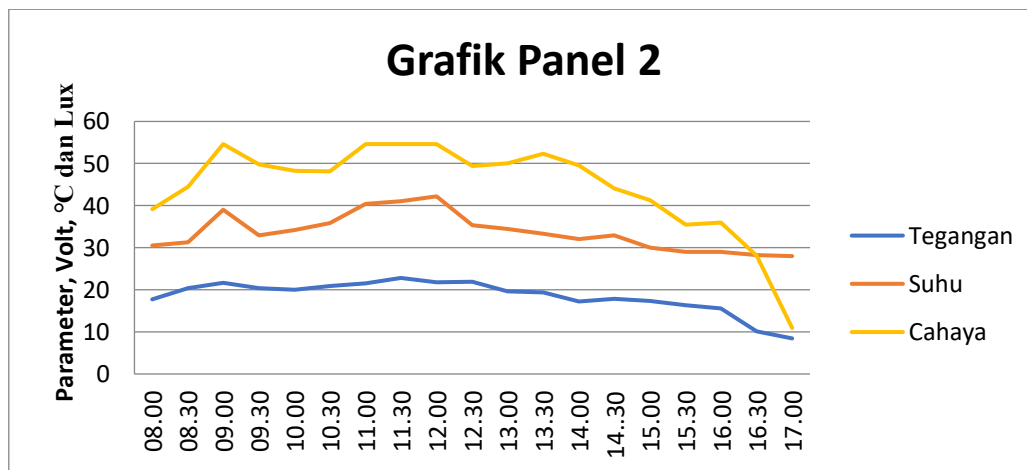
Waktu	Panel Satu			Panel Dua		
	Tegangan (Volt)	Suhu (°C)	Cahaya (Lux)	Tegangan (Volt)	Suhu (°C)	Cahaya (Lux)
11.00	18,82	35,4	49762,5	21,5	40,4	54612,5
11.30	22,6	39,7	54612,5	22,82	41	54612,5
12.00	20,3	39,9	52315	21,77	42,2	54612,5
12.30	21,65	36	49407	21,96	35,3	49370,8
13.00	18,74	37,9	42241,7	19,6	34,5	50022,5
13.30	18,23	34	42482,5	19,43	33,3	52283,3
14.00	17,06	31,7	40716,7	17,21	32	49493
14.30	16,28	30	39807,5	17,91	33	44029,2
15.00	16,86	30	38810,8	17,4	30	41285
15.30	15,13	29	36510,8	16,4	29	35474,2
16.00	15,74	28,5	35994,2	15,62	29	35930,8
16.30	10,52	28,9	24310	10,13	28,2	28105,8
17.00	8,33	28	13865	8,45	28	10918,3

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa intensitas cahaya dan suhu meningkat signifikan pada pagi hingga menjelang siang (08.00-10.00 WITA), yang diikuti oleh kenaikan tegangan keluaran kedua panel. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketersediaan cahaya matahari sangat berpengaruh terhadap performa panel. Pada rentang waktu 11.00-13.00 WITA, intensitas cahaya mencapai nilai maksimum di atas 54.000 lux, disertai suhu lingkungan yang relatif tinggi. Namun, tegangan keluaran kedua panel tidak meningkat secara signifikan, bahkan cenderung menurun. Fenomena ini menunjukkan adanya pengaruh suhu berlebih terhadap penurunan efisiensi konversi energi pada panel surya.

Selanjutnya, pada periode sore hari (14.00-17.00 WITA), intensitas cahaya dan suhu mengalami penurunan bertahap. Tegangan keluaran juga menurun seiring berkurangnya paparan cahaya, hingga pada pukul 16.30-17-00 WITA semua parameter mengalami penurunan tajam. Secara umum, hasil pengujian memperlihatkan bahwa meskipun intensitas cahaya merupakan faktor dominan yang meningkatkan tegangan, suhu berlebih dapat menurunkan performa panel surya.



Gambar 10. Grafik Panel 1 Hubungan Tegangan, Suhu dan Cahaya



Gambar 11. Grafik Panel 2 Hubungan Tegangan, Suhu dan Cahaya

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh data yang menunjukkan kestabilan dan konsistensi kerja sistem dalam memantau parameter tegangan, suhu, dan intensitas cahaya dari pukul 08.00-17.00 wita. Pada pagi hari pukul 09.00 wita, Panel 1 mencapai tegangan maksimum 22,43 V dengan intensitas cahaya 54.612,5 lux dan suhu 38,4 °C, sedangkan Panel 2 mencapai 21,67 V dengan intensitas 54.612,5 lux dan suhu 39 °C, Memasuki siang hari pukul 11.30, Panel 2 mencatat tegangan tertinggi 22,82 V pada intensitas 54.612,5 lux dan suhu 41 °C, sementara Panel 1 menunjukkan tegangan 22,6 V dengan kondisi cahaya sama dan suhu 39,7 °C. Pada sore hari pukul 17.00 wita, kedua panel mengalami penurunan signifikan, di mana Panel 1 turun hingga 8,33 V dengan intensitas 13.865 lux dan suhu 28 °C, sedangkan Panel 2 turun menjadi 8,45 V dengan intensitas 10.918,3 lux dan suhu 28 °C. Dapat disimpulkan bahwa cahaya yang tinggi memang penting dalam menghasilkan energi listrik pada panel surya namun tidak cukup jika tidak diimbangi dengan suhu yang relatif rendah, Kondisi

optimal dicapai saat cahaya maksimum disertai suhu yang tidak terlalu tinggi, dengan panel 2 menunjukkan performa sedikit lebih stabil dibanding panel 1.

REFERENSI

- Abdurahman, A.-, Rosiana, E.-, Kusnadi, H.-, & Raharjo, T.-. (2024). Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Web. *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (JustIN)*, 12(3), 543. <https://doi.org/10.26418/justin.v12i3.79793>
- Daya, P., Panel, L., Secara, S., Jauh, J., Aplikasi, M., Website, B., Arifin, Z., Giri Puspita, S., Widya, D. P., Zuwarnando, D. P., Prasetyawan, A., Rahadian, H., Islahudin, N., & Al Jabbar, A. V. (2023). Monitoring Solar Panel Output via Website-Based Application. *Hal*, 5(2), 93–102. <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JRRE>
- Dwisari. (2023). Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 376–384. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3322>
- Inayah, I., Hayati, N., Nurcholis, A., Dimyati, A., & Prasetia, M. G. (2023). Realtime Monitoring System of Solar Panel Performance Based on Internet of Things Using Blynk Application. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 7(2), 135–143. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v7i2.53365>
- Lorobezy, T. D., & Krismadinata. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Off-Grid Berbasis IoT. *MSI Transaction on Education*, 4(2), 71–84. <https://doi.org/10.46574/mted.v4i2.111>
- Pijoh. (2024). Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan. *Industrial & System Engineering Journals*, 2(2), 201–207.
- Pratama. (2021). Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno. *MSI Transaction on Education*, 2(1), 19–32. <https://doi.org/10.46574/mted.v2i1.46>
- Rauf, R., Ritnawati, Rachim, F., Dahri, A. T., Andre, H., Richard, N., Aminur, E., Corio, D., & Siagian, P. (2023). Matahari sebagai Energi Masa Depan| Panduan Lengkap Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). In *Repository.Uhn.Ac.Id* (Vol. 1).
- Saputra, R. (2024). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Konversi Energi Pada Panel Surya Berbasis Website Skripsi Oleh: Reza Saputra Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan Skripsi*.
- Siringo-ringo, M. (2024). Kebijakan Energi dan Dampak Lingkungan: Menuju Model Berkelanjutan. *Circle Archive*, 5(1), 1–13.
- Yusuf, R. A., Setianingsih, P. I. A., Hernawan, A. D., Deviany, D., Yusupandi, F., Suryanto, I., Armanda, S., Yusadetama, E. A., Corrysha, J. L., Nugraha, D. A., Afriliza, T. F., & Alhanif, M. (2024). Perkembangan concentrated solar cells (CSC)

untuk meningkatkan efisiensi energi matahari menuju energi bersih dan berkelanjutan. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, Dan Listrik Tenaga)*, 4(3), 195–208. <https://doi.org/10.35313/jitel.v4.i3.2024.195-208>