

## Sistem Monitoring Daya Keluaran PLTS terhadap Penurunan Suhu Permukaan Panel Surya

Fauzan asrori<sup>a,1</sup>, Jefri Lianda<sup>a,2</sup>, Adam<sup>a,3</sup>

<sup>a</sup>Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Sungai Alam, Kecamatan Bengkalis, Kabupaten Bengkalis, Riau, Indonesia 28711

<sup>1</sup> Fauzan asrori @gmail.com\*; <sup>2</sup>Jefri@polbeng.ac.id; <sup>3</sup>Adam@polbeng.ac.id

\* Penulis Koresponden

### INFO ARTIKEL

#### Histori Artikel

Pengajuan 2026-04-10

Diperbaiki 2026-06-09

Diterima 2026-06-18

Kata Kunci  
PLTS,  
Watt peak,  
Monocrystalline,  
Pemantauan,  
Real time

### ABSTRAK

Abstrak— Sistem monitoring daya keluaran PLTS terhadap penurunan suhu permukaan panel surya bertujuan untuk menganalisis pengaruh pengendalian suhu terhadap kinerja panel. Panel surya yang digunakan memiliki daya sebesar 50 WP. Jenis Panel surya yaitu Monocrystalline. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan membandingkan kondisi panel tanpa pendingin dan dengan sistem pendingin air, serta dilengkapi sistem monitoring untuk mengukur suhu, tegangan, arus, dan daya secara real-time. Pengujian dilakukan pada pukul 09.00–13.00 WIB. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem pendingin air dengan sistem monitoring real-time pada PLTS 50 WP untuk mengevaluasi secara langsung hubungan antara suhu permukaan panel dan daya keluaran panel surya.. Hasil menunjukkan bahwa pada pukul 10.00 daya meningkat dari 16,95 W menjadi 29,7 W, pada pukul 11.00 dari 32,64 W menjadi 35,88 W, dan pada pukul 13.00 dari 36,72 W menjadi 38,64 W setelah menggunakan pendingin. Suhu panel juga lebih stabil pada kisaran 29,3–35,6°C. Sistem monitoring mampu menampilkan data secara akurat dan kontinu. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan suhu permukaan panel berpengaruh signifikan terhadap peningkatan daya keluaran serta kestabilan kinerja PLTS.

### ABSTRACT

#### Keyword

Monitoring,  
Temperature,  
Photovoltaic,  
Real time,  
Watt peak.

*The output power monitoring system of a photovoltaic (PV) power plant was developed to analyze the effect of surface temperature control on solar panel performance. The study utilized a 50 Wp monocrystalline solar panel. An experimental method was employed by comparing panel performance under two operating conditions: without a cooling system and with a water-cooling system. The system was integrated with a real-time monitoring platform capable of measuring panel surface temperature, voltage, current, and output power continuously. Testing was conducted from 09:00 to 13:00 WIB. The novelty of this study lies in the integration of a water-cooling system with a real-time monitoring system for a 50 Wp PV module to directly evaluate the relationship between panel surface temperature and output power. The results indicate that the implementation of the cooling system increased the output power from 16.95 W to 29.70 W at 10:00, from 32.64 W to 35.88 W at 11:00, and from 36.72 W to 38.64 W at 13:00. In addition, the panel surface temperature remained more stable within the range of 29.3–35.6°C. The monitoring system successfully provided accurate and continuous measurements throughout the testing period. These findings demonstrate that reducing the panel surface temperature can effectively enhance output power and improve the operational stability of the PV system.*

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC-BY-SA.*



## 1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi surya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu solusi strategis untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat serta mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Panel surya atau modul fotovoltaik (PV) berfungsi mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Namun, kinerja panel surya tidak hanya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, tetapi juga oleh kondisi lingkungan, khususnya suhu operasional panel. Pada kondisi radiasi tinggi, sebagian besar energi matahari yang diterima panel berubah menjadi panas sehingga meningkatkan suhu permukaan panel dan berdampak pada penurunan performa sistem PLTS [1].

Peningkatan suhu permukaan panel surya menyebabkan perubahan karakteristik listrik sel fotovoltaik. Kenaikan suhu sel akan menurunkan tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan efisiensi konversi energi, sementara arus keluaran hanya mengalami peningkatan yang relatif kecil. Penurunan tegangan yang lebih dominan dibandingkan kenaikan arus menyebabkan daya keluaran panel surya secara keseluruhan menurun. Pada panel surya berbasis silikon, penurunan efisiensi akibat kenaikan suhu dinyatakan dengan koefisien suhu yang umumnya berada pada kisaran  $-0,3\%$  hingga  $-0,5\%$  per derajat Celsius [2]. Kondisi ini menjadi tantangan utama dalam pengoperasian PLTS, terutama di daerah beriklim tropis dengan intensitas radiasi dan suhu lingkungan yang tinggi.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengurangi dampak kenaikan suhu panel surya, salah satunya adalah penerapan sistem pendingin. Sistem pendingin air aktif dinilai efektif karena air memiliki kapasitas panas yang tinggi dan mampu menyerap panas dari permukaan panel secara optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan pendingin air pada panel surya dapat menurunkan suhu permukaan panel secara signifikan serta meningkatkan tegangan dan daya keluaran dibandingkan dengan panel tanpa pendingin [3][4]. Dengan menurunnya suhu panel, rugi-rugi termal dapat dikurangi sehingga kinerja panel surya menjadi lebih stabil dan efisien. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penurunan suhu permukaan panel surya terhadap daya keluaran PLTS melalui penerapan sistem pendingin air aktif. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membandingkan parameter listrik panel surya sebelum dan sesudah penggunaan sistem pendingin pada kondisi radiasi matahari yang relatif sama. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam pengembangan sistem PLTS yang lebih efisien dan andal, khususnya untuk aplikasi di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia [5].

Secara kritis, penelitian-penelitian sebelumnya telah berhasil menunjukkan manfaat pendinginan terhadap peningkatan efisiensi panel surya, namun sebagian besar belum menyediakan mekanisme akuisisi data yang memungkinkan pengamatan berkelanjutan terhadap respons termal dan elektrik panel selama periode operasi lapangan. Akibatnya, karakteristik perubahan daya akibat penurunan suhu panel belum dapat diamati secara detail dan kuantitatif pada berbagai kondisi waktu pengoperasian. Selain itu, sebagian penelitian hanya mengevaluasi performa pendinginan sebagai sistem tersendiri tanpa mengintegrasikannya dengan teknologi monitoring berbasis sensor yang dapat mendukung pengambilan keputusan dan pemeliharaan sistem PLTS secara lebih efektif.

Berdasarkan kondisi tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem pendingin air dengan sistem *monitoring real-time* pada PLTS 50 WP untuk mengevaluasi secara langsung hubungan antara suhu permukaan panel dan daya keluaran panel surya. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada aspek pendinginan atau pengukuran parameter tertentu, penelitian ini mengombinasikan pengendalian suhu, akuisisi

data kontinu, dan analisis hubungan suhu–daya dalam satu sistem terpadu sehingga pengaruh termal terhadap performa panel surya dapat diamati secara langsung dan kuantitatif.

Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan bukti eksperimental mengenai efektivitas sistem pendingin air aktif dalam meningkatkan daya keluaran dan menjaga kestabilan suhu panel surya, sekaligus menghasilkan sistem monitoring yang mampu menyediakan data operasional secara real-time. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknologi optimasi performa PLTS yang lebih efisien, khususnya pada aplikasi skala kecil di wilayah tropis dengan intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan yang tinggi.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh penurunan suhu permukaan panel surya terhadap daya keluaran sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 50 WP dengan jenis *Monocrystalline*. Pengujian dilakukan secara langsung di lapangan dengan memanfaatkan satu modul panel surya yang dioperasikan pada dua kondisi, yaitu tanpa sistem pendingin dan dengan sistem pendingin air aktif. Pengambilan data dilakukan pada waktu yang sama dan pada kondisi intensitas radiasi matahari yang relatif seragam untuk meminimalkan pengaruh variabel lingkungan lain terhadap hasil pengukuran. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi modul panel surya, sistem pendingin air aktif yang dipasang pada bagian belakang panel, pompa air DC, reservoir air, serta pipa distribusi air. Instrumen pengukuran terdiri dari termometer inframerah untuk mengukur suhu permukaan panel, multimeter digital untuk mengukur tegangan dan arus keluaran. Seluruh instrumen telah dikalibrasi sebelum digunakan guna memastikan akurasi data yang diperoleh selama proses pengujian.

Prosedur penelitian diawali dengan pengambilan data suhu permukaan panel, tegangan, dan arus keluaran pada kondisi panel surya tanpa pendingin. Setelah itu, sistem pendingin air diaktifkan dan panel dioperasikan kembali hingga suhu permukaan panel mencapai kondisi stabil. Data suhu, tegangan, dan arus kembali dicatat secara periodik dalam interval waktu tertentu. Daya keluaran panel surya dihitung berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan persamaan dasar daya listrik, sedangkan perbandingan kinerja panel dilakukan berdasarkan selisih daya dan suhu sebelum serta sesudah penerapan sistem pendingin. Gambar 1 merupakan komponen rancangan yang akan diterapkan pada penelitian ini.



**Gambar 1.** Rancangan Hardware

Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk melihat hubungan antara penurunan suhu permukaan panel dengan peningkatan daya keluaran

PLTS. Analisis dilakukan dengan menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik guna memperjelas tren perubahan suhu dan daya. Hasil analisis digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai efektivitas sistem pendingin air dalam meningkatkan performa panel surya, sekaligus sebagai dasar evaluasi potensi penerapan sistem pendingin pada instalasi PLTS di daerah beriklim tropis.

Analisis statistik dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh penurunan suhu permukaan panel surya terhadap daya keluaran PLTS secara kuantitatif. Data suhu, tegangan, arus, dan daya yang diperoleh selama pengujian dianalisis menggunakan statistik deskriptif yang meliputi nilai rata-rata, standar deviasi, nilai minimum, dan maksimum untuk menggambarkan karakteristik data. Untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan keandalan data hasil pengukuran, dilakukan analisis kesalahan (*error measurement*) dengan menghitung persentase kesalahan relatif (Relative Error) antara nilai hasil pengukuran dan nilai acuan menggunakan persamaan Relative Error (%)

Untuk meningkatkan reliabilitas data, setiap skenario pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan (*repeated experiment*) pada hari yang berbeda dengan kondisi cuaca cerah. Nilai akhir setiap parameter diperoleh dari rata-rata hasil pengukuran seluruh pengulangan. Konsistensi data antar pengulangan dievaluasi menggunakan nilai standar deviasi dan *Coefficient of Variation (CV)*. Nilai CV yang rendah menunjukkan tingkat kestabilan dan keterulangan hasil eksperimen yang baik.

### 3. Hasil dan Analisis

Pengujian dilakukan pada tanggal 8 Januari 2026 di lingkungan Politeknik Negeri Bengkalis. Data diambil pada saat intensitas matahari tertinggi, yaitu pukul 09.00 hingga 13.00 WIB. Parameter yang diukur meliputi tegangan (V), arus (I), dan suhu permukaan panel (T).

**Tabel 1.** Perbandingan Kinerja Panel Surya Tanpa dan Dengan Pendingin

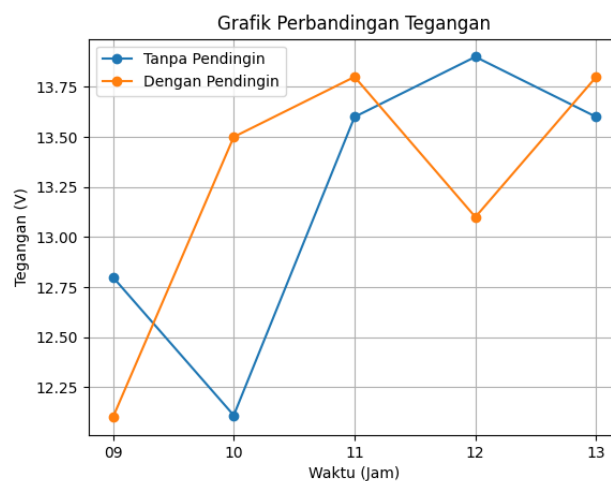
Waktu	Kondisi	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
09.00	Tanpa Pendingin	32.6	12,8	1.1	14.08
	Dengan Pendingin	32.2	12.10	1.2	14.52
10.00	Tanpa Pendingin	31.8	12.11	1.4	16.94
	Dengan Pendingin	31.6	13.5	2.2	29,7
11.00	Tanpa Pendingin	35.7	13.6	2.4	32.64
	Dengan Pendingin	35.6	13.8	2.6	35,88
12.00	Tanpa Pendingin	35.2	13.9	2.8	38,92
	Dengan Pendingin	34.3	13.10	2.9	37,99
13.00	Tanpa Pendingin	29.5	13.6	2.7	36.72
	Dengan Pendingin	29.3	13.8	2.8	38.64

Hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin air memberikan pengaruh terhadap suhu permukaan panel surya dan daya keluaran yang dihasilkan. Pada pukul 09.00, suhu panel tanpa pendingin sebesar 32,6°C dengan daya keluaran 14,08 W, sedangkan pada kondisi menggunakan pendingin suhu panel menurun menjadi 32,2°C dan daya meningkat menjadi 14,52 W atau mengalami peningkatan sebesar 3,13%. Pada pukul 10.00 terjadi peningkatan daya yang sangat signifikan, dimana daya panel tanpa pendingin sebesar 16,94 W meningkat menjadi 29,70 W setelah sistem pendingin diaktifkan, sehingga terjadi peningkatan daya sebesar 75,32%, sementara suhu panel turun dari 31,8°C menjadi 31,6°C. Pada pukul 11.00, suhu panel berkurang dari 35,7°C menjadi 35,6°C dan daya keluaran meningkat dari 32,64 W menjadi 35,88 W atau mengalami peningkatan sebesar 9,93%.

Pada pukul 12.00, suhu panel turun dari 35,2°C menjadi 34,3°C, namun daya keluaran dengan pendingin tercatat sebesar 37,99 W, sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa pendingin yaitu 38,92 W, sehingga terjadi penurunan daya sebesar 2,39%. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh perubahan intensitas radiasi matahari, sudut datang cahaya, atau faktor lingkungan lainnya yang tidak sepenuhnya dapat dikendalikan selama pengujian lapangan. Pada pukul 13.00, suhu panel kembali menurun dari 29,5°C menjadi 29,3°C dan daya keluaran meningkat dari 36,72 W menjadi 38,64 W atau mengalami peningkatan sebesar 5,23%. Secara keseluruhan, sistem pendingin mampu menjaga suhu panel pada kisaran 29,3–35,6°C dan menghasilkan daya rata-rata sebesar 31,35 W, lebih tinggi dibandingkan daya rata-rata tanpa pendingin sebesar 27,86 W. Dengan demikian, penggunaan sistem pendingin air menghasilkan peningkatan daya rata-rata sebesar 12,53% selama periode pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan suhu permukaan panel surya berkontribusi terhadap peningkatan performa panel surya monocrystalline 50 Wp dengan mengurangi rugi-rugi termal yang terjadi selama proses konversi energi matahari menjadi energi listrik.

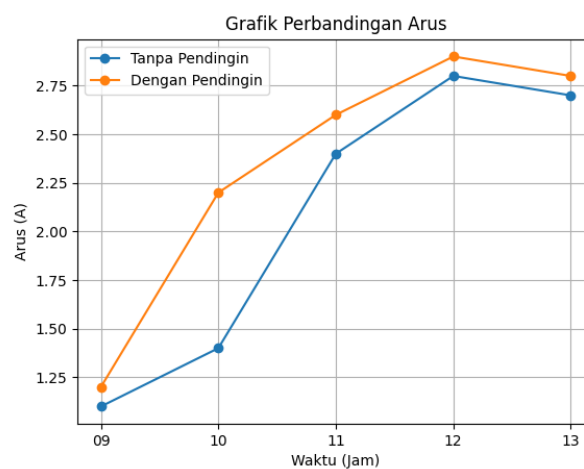
Terdapat anomali pada data pukul 12.00, dimana suhu panel dengan pendingin lebih rendah (34,3°C) dibandingkan tanpa pendingin (35,2°C), namun daya keluaran justru sedikit menurun dari 38,92 W menjadi 37,99 W. Secara teori, penurunan suhu seharusnya meningkatkan daya keluaran panel surya. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh faktor eksternal yang tidak terkontrol selama pengujian, seperti fluktuasi intensitas radiasi matahari akibat awan tipis, perubahan sudut datang sinar matahari, bayangan sesaat pada permukaan panel, variasi debit aliran air pendingin, atau ketidakpastian pengukuran instrumen. Selain itu, selisih daya sebesar 0,93 W relatif kecil sehingga masih dapat berada dalam rentang kesalahan pengukuran (*measurement uncertainty*). Oleh karena itu, anomali tersebut tidak menunjukkan kegagalan sistem pendingin, melainkan indikasi adanya pengaruh variabel lingkungan lain yang turut memengaruhi kinerja panel surya selama pengujian lapangan.

Berdasarkan Gambar 2. Grafik perbandingan tegangan panel surya tanpa pendingin dan dengan pendingin, terlihat bahwa nilai tegangan pada kedua kondisi cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya intensitas radiasi matahari dari pukul 09.00 hingga mencapai puncaknya pada siang hari. Namun, panel surya yang menggunakan sistem pendingin menunjukkan nilai tegangan yang lebih stabil dan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan panel tanpa pendingin. Hal ini disebabkan oleh kemampuan sistem pendingin dalam menurunkan suhu permukaan panel sehingga mengurangi efek negatif temperatur terhadap karakteristik listrik sel fotovoltaik. Pada kondisi tanpa pendingin, peningkatan suhu panel menyebabkan terjadinya penurunan tegangan akibat meningkatnya energi termal yang mengganggu pergerakan elektron dalam material semikonduktor. Sebaliknya, pada kondisi dengan pendingin, suhu panel dapat dijaga lebih rendah sehingga tegangan yang dihasilkan tetap optimal. Perbedaan ini semakin terlihat pada saat kondisi radiasi maksimum, di mana panel tanpa pendingin mengalami fluktuasi tegangan yang lebih signifikan dibandingkan panel dengan pendingin. Dengan demikian, grafik ini menunjukkan bahwa suhu memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap tegangan keluaran panel surya, dan penerapan sistem pendingin menjadi salah satu solusi efektif untuk menjaga kestabilan tegangan serta meningkatkan performa sistem secara keseluruhan.



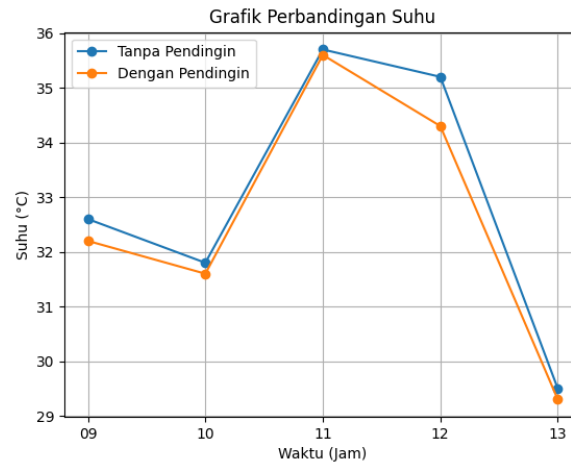
**Gambar 2.** Grafik perbandingan tegangan panel surya

Grafik perbandingan arus menunjukkan bahwa nilai arus keluaran panel surya mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari seperti pada Gambar 3. Pada kedua kondisi, baik tanpa pendingin maupun dengan pendingin, arus menunjukkan tren naik dari pagi menuju siang hari, kemudian relatif stabil atau sedikit menurun pada sore hari. Namun demikian, panel surya yang dilengkapi dengan sistem pendingin menghasilkan arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel tanpa pendingin. Hal ini disebabkan oleh kondisi suhu yang lebih rendah pada panel dengan pendingin, sehingga proses eksitasi elektron akibat radiasi matahari dapat berlangsung lebih efektif. Pada panel tanpa pendingin, suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan peningkatan resistansi internal sehingga menghambat aliran arus listrik yang dihasilkan. Selain itu, peningkatan suhu juga dapat mempercepat terjadinya recombination elektron dan hole yang mengurangi jumlah pembawa muatan yang berkontribusi terhadap arus. Perbedaan nilai arus ini menjadi lebih jelas pada saat intensitas radiasi tinggi, di mana sistem pendingin mampu mempertahankan performa panel dalam kondisi optimal. Dengan demikian, grafik ini memperlihatkan bahwa selain mempengaruhi tegangan, suhu juga memiliki pengaruh terhadap arus keluaran panel surya, meskipun tidak sebesar pengaruhnya terhadap tegangan. Namun, peningkatan arus tetap memberikan kontribusi penting terhadap peningkatan daya keluaran secara keseluruhan.



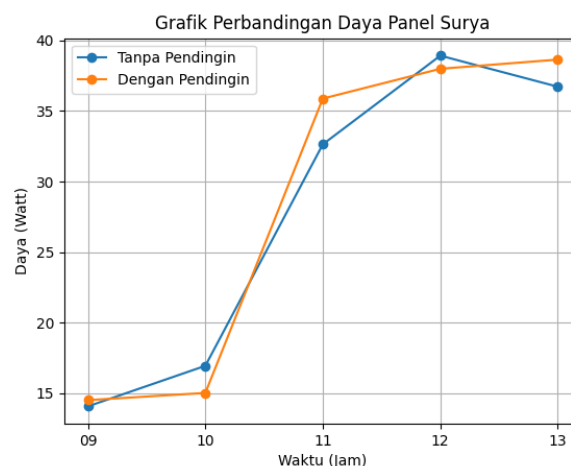
**Gambar 3.** Grafik perbandingan Arus panel surya

Berdasarkan grafik perbandingan suhu, terlihat bahwa suhu permukaan panel surya pada kondisi tanpa pendingin cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan panel yang menggunakan sistem pendingin. Kenaikan suhu terjadi seiring dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari, terutama pada rentang waktu siang hari. Pada panel tanpa pendingin, panas yang diterima dari radiasi matahari terakumulasi di permukaan panel sehingga menyebabkan suhu meningkat secara signifikan. Sebaliknya, pada panel dengan pendingin, sistem pendingin air mampu menyerap dan mengalirkan panas dari permukaan panel sehingga suhu dapat dijaga lebih rendah dan stabil. Perbedaan suhu ini meskipun terlihat tidak terlalu besar dalam angka, namun memiliki dampak yang signifikan terhadap performa panel surya. Hal ini dikarenakan karakteristik sel fotovoltaik sangat sensitif terhadap perubahan suhu, di mana peningkatan suhu dapat menurunkan efisiensi konversi energi. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa sistem pendingin bekerja secara efektif dalam mengurangi akumulasi panas selama proses pengujian berlangsung. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengendalian suhu merupakan faktor penting dalam menjaga kinerja panel surya, dan penggunaan sistem pendingin air merupakan metode yang efektif untuk mengurangi dampak negatif suhu tinggi terhadap performa panel.



**Gambar 4.** Grafik perbandingan Suhu panel surya

Gambar 5 adalah grafik perbandingan daya menunjukkan bahwa daya keluaran panel surya pada kondisi dengan pendingin secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanpa pendingin. Daya merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus, sehingga dipengaruhi secara langsung oleh kedua parameter tersebut. Pada grafik terlihat bahwa peningkatan daya terjadi seiring dengan meningkatnya intensitas radiasi matahari, dengan nilai maksimum terjadi pada siang hari. Panel dengan pendingin mampu menghasilkan daya yang lebih besar karena tegangan yang lebih stabil dan arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel tanpa pendingin. Pada kondisi tanpa pendingin, peningkatan suhu menyebabkan penurunan tegangan yang cukup signifikan sehingga berdampak pada penurunan daya keluaran. Sementara itu, sistem pendingin membantu menjaga suhu panel tetap rendah sehingga kehilangan daya akibat efek termal dapat diminimalkan. Meskipun terdapat beberapa data yang menunjukkan fluktuasi, secara keseluruhan tren menunjukkan bahwa penggunaan pendingin memberikan keuntungan dalam meningkatkan daya keluaran panel surya. Grafik ini memperkuat hasil analisis sebelumnya bahwa suhu merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap performa panel surya. Oleh karena itu, penerapan sistem pendingin menjadi salah satu solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem PLTS secara keseluruhan.



**Gambar 5.** Grafik perbandingan Daya panel surya

Berdasarkan hasil pengujian sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang ditunjukkan pada Gambar 6, sistem mampu melakukan akuisisi, transmisi, dan visualisasi data parameter kelistrikan panel surya secara real-time dengan baik. Parameter yang dimonitor meliputi tegangan, arus, dan suhu permukaan panel surya yang diperoleh melalui sensor, kemudian diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke server melalui jaringan internet. Data yang diterima selanjutnya ditampilkan dalam bentuk

antarmuka aplikasi berbasis web maupun mobile (*billing system*), sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan secara jarak jauh.



**Gambar 6.** Hasil tampilan Sistem Monitoring

Selama proses pengujian, sistem menunjukkan kinerja yang stabil dalam menampilkan data secara kontinu dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Variasi nilai parameter yang ditampilkan pada aplikasi sesuai dengan hasil pengukuran langsung di lapangan, sehingga menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang baik. Selain itu, tidak ditemukan adanya keterlambatan (*delay*) yang signifikan dalam proses pengiriman data, yang mengindikasikan bahwa komunikasi antara perangkat keras dan server berjalan secara optimal.

Implementasi sistem monitoring berbasis IoT ini memberikan kemudahan dalam proses pengambilan dan pencatatan data secara otomatis serta terintegrasi. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam kegiatan pengujian, tetapi juga mendukung analisis kinerja panel surya secara lebih akurat dan sistematis, sehingga sangat relevan untuk diterapkan pada pengembangan sistem PLTS modern.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, sistem monitoring daya keluaran PLTS terhadap penurunan suhu permukaan panel surya menunjukkan bahwa penerapan pendingin air berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja panel. Sistem ini mampu memantau dan menjaga kestabilan suhu permukaan sehingga berdampak pada kestabilan tegangan, peningkatan arus, dan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan tanpa pendingin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin air mampu meningkatkan kinerja panel surya dibandingkan kondisi tanpa pendingin. Pada pukul 09.00, daya meningkat dari 14,08 W menjadi 14,52 W (3,13%). Peningkatan terbesar terjadi pada pukul 10.00, yaitu dari 16,94 W menjadi 29,70 W (75,32%). Pada pukul 11.00, daya meningkat dari 32,64 W menjadi 35,88 W (9,93%), sedangkan pada pukul 13.00 meningkat dari 36,72 W menjadi 38,64 W (5,23%). Hanya pada pukul 12.00 terjadi penurunan sebesar 2,39%. Secara keseluruhan, daya rata-rata meningkat sebesar 12,53%, menunjukkan bahwa pendinginan efektif mengurangi rugi-rugi termal dan meningkatkan performa panel surya. Keterbatasan sistem meliputi pengujian pada satu panel 50 Wp, waktu pengamatan terbatas, dan belum memperhitungkan konsumsi energi. Dengan demikian, pengendalian dan monitoring suhu menjadi faktor penting dalam mengoptimalkan performa panel surya, terutama pada kondisi radiasi matahari tinggi. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan sistem pendingin otomatis berbasis IoT, menguji berbagai kapasitas panel surya, serta melakukan pemantauan jangka panjang untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem.

## Pengakuan dan Penghargaan

Penelitian ini didukung oleh Laboratorium Simulasi Tenaga Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis dan ucapan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bengkalis yang telah memberikan dukungan finansial pada penelitian ini.

## Referensi

- [1] Efendi, M. S., Rifky, R., Nofendri, & Rohman, N., Pengaruh Pendinginan terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi Sistem Panel Surya. *METALIK*, 3(2), pp. 67–73, 2024.
- [2] Sari, L. O., Saputra, M. F. E., & Safrianti, E. (2024). Sistem monitoring arus listrik berbasis Internet of Things (IoT) pada solar panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(1), 205–211. <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i1.1033>
- [3] Dewi, R. P., Purnata, H., & Rahkat, S. (2023). Sistem pendingin panel surya otomatis untuk meningkatkan daya keluaran panel surya. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.24176/simet.v14i1.8901>
- [4] Dewi, R. P., Karyani, U., & Darpono, R. (2023). Aplikasi NodeMCU ESP8266 dan sensor suhu untuk monitoring suhu permukaan panel surya melalui smartphone. *Jurnal Ilmiah Flash*, 8(2), 53. <https://doi.org/10.32511/flash.v8i2.95>
- [5] Gomaa, M. R., Ahmed, M., & Rezk, H. (2022). Temperature distribution modeling of PV and cooling water PV/T collectors through thin and thick cooling cross-finned channel box. *Energy Reports*, 8, 1144–1153. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.061>
- [6] Ariksha, J., Forestico, A. S. S., Setiawan, Y., & Saparin. (2024). Pengaruh pendinginan panel surya terhadap efisiensi daya keluaran. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 36–40. <https://doi.org/10.33019/jm.v10i1.5055>
- [7] Efendi, M. S., Rifky, R. A. P., Nofendri, Y., & Rohman, N. (2024). Pengaruh pendinginan terhadap daya keluaran dan efisiensi sistem panel surya. *METALIK: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:273732367>
- [8] Abid, M. S., Pambudi, W. S., Suheta, T., Wati, T., & Munir, M. (2024). Analisa efisiensi daya solar cell dengan integrasi sistem pendingin. *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, 4(3). <https://doi.org/10.47065/bees.v4i3.4964>
- [9] Denk, S., Pandria, T. M. A., & Syukri, S. (2025). Pengaruh suhu terhadap kinerja panel surya: Literature review. *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, 5(1), 13–17. <https://doi.org/10.55616/ajeetech.v5i1.974>
- [10] King, D. L., Kratochvil, J. A., & Boyson, W. E. (1997). Temperature coefficients for PV modules and arrays: Measurement methods, difficulties, and results. In *Proceedings of the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (pp. 1183–1186). IEEE



Fauzan Asrori lahir di Kota Bengkalis ,26 Mei 2004. Memperoleh gelar Sarjana dari Politeknik Negeri Bengkalis pada 2026. Minat penelitiannya adalah Energi Terbarukan dan IoT.

Alamat Email: [icanfauzan72@gmail.com](mailto:icanfauzan72@gmail.com)



Jefri Lianda lahir di Kota Bengkulu 20 Januari 1984. memperoleh gelar Sarjana dari ITS pada 2019, Magister dari ITS, Indonesia pada 2011, Saat ini, ia bekerja di Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkulu sebagai Dosen dan Peneliti. Minat penelitiannya adalah PLTS dan IoT

Alamat Email: [jefri@polbeng.ac.id](mailto:jefri@polbeng.ac.id)



Adam lahir Selat Panjang 30 Juli 1965, memperoleh Gelar Sjana dari Institut Sains & Teknologi “AKPRIND” Yogyakarta – Indonesia , pada 1998 saat ini di Teknik Elektro Politeknik Negeri Bengkulu sebagai Dosen dan Peneliti. Minat penelitiannya adalah Elektronika Daya dan Sistem Pembangkit

Alamat Email: [adam@polbeng.ac.id](mailto:adam@polbeng.ac.id)