

**ANALISIS PERBANDINGAN MEDIA PENDINGIN TERBAIK  
UNTUK PLTS DENGAN PERTIMBANGAN EFISIENSI**

**Rizqy Kurnia Putra<sup>1</sup>, Ojak Abdul Rozak<sup>2</sup>**

Universitas Pamulang

E-mail: [rizqykurnia22@gmail.com](mailto:rizqykurnia22@gmail.com)<sup>1</sup>,

[dosen01314@unpam.ac.id](mailto:dosen01314@unpam.ac.id)<sup>2</sup>

**Abstrak**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin berhasil menurunkan suhu permukaan panel dan meningkatkan efisiensi konversi energi. Analisis menunjukkan bahwa PV A yang menggunakan pendingin di permukaan panel memiliki efisiensi tertinggi dengan rata-rata suhu 33.84°C dan rata-rata efisiensi 15.65%, diikuti oleh PV B dengan pendingin sirkulasi air di bawah panel dengan rata-rata suhu di 35.23°C dan rata-rata efisiensi sebesar 13.97%, dan PV C tanpa pendingin dengan rata-rata suhu 44.64°C efisiensi terendah yaitu 12.91%. Hal ini membuktikan bahwa sistem pendingin pada PV A lebih efektif dalam meningkatkan efisiensi panel surya dibandingkan dengan pendingin PV B. Selain itu, ditemukan bahwa setiap kenaikan suhu permukaan panel surya dapat mengurangi efisiensi konversi energinya. Kesimpulannya, mengendalikan suhu panel surya melalui sistem pendingin sangat penting untuk memastikan kinerja optimal, terutama di daerah dengan suhu lingkungan tinggi. Sistem pendingin berbasis cairan yang diterapkan pada permukaan panel terbukti menjadi solusi terbaik dalam meningkatkan efisiensi panel surya.

**Kata Kunci** — Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Suhu, Sistem Pendinginan, Efisiensi, Konversi Energi.

**Abstract**

*This research aims to analyze the comparison of the best cooling media considering efficiency and sustainability in solar panels (PV). The research questions include the design of a cooling system for PV, testing of the developed cooling system, analysis of the cooling system's effect on PV efficiency, and the impact of temperature on PV efficiency. The cooling system design in this study involves the use of a liquid-based cooling medium applied to the surface and underside of the PV, with water circulation to absorb heat from the panel surface. Testing was conducted through experimental methods in a controlled environment, measuring the surface temperature of the panel and the power output generated with and without the cooling system. The tests were conducted from 08:00 to 16:00 at the rooftop of Building B, Universitas Pamulang campus, using three 120WP monocrystalline solar panels connected in parallel.*

**Keywords** — Solar Power Plant, Temperature, Cooling System, Efficiency, Energy Conversion.

**PENDAHULUAN**

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, dengan kapasitas melebihi 400.000 Mega Watt (MW), di mana sekitar 200.000 MW atau 50% merupakan potensi energi surya (Indra et al., 2023). Negara ini terletak di area dengan intensitas sinar matahari yang sangat tinggi, yaitu sekitar 3,6 – 6 kWh/m<sup>2</sup> per hari, setara dengan 1.170 – 1.530 kWh per tahun (Hendra, 2021). Untuk memanfaatkan potensi energi surya tersebut, diperlukan penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) (Indra et al., 2023).

Namun, terdapat beberapa masalah terkait performa panel surya, salah satunya adalah pengaruh temperatur pada sel surya yang memengaruhi perpindahan elektron (Indra et al., 2023). Komponen semikonduktor pada sel surya sangat sensitif terhadap perubahan suhu, di mana kenaikan suhu dapat menurunkan band gap (selisih energi antara pita valensi dan pita konduksi) semikonduktor, sehingga meningkatkan resistansi dan memperlambat perpindahan elektron (Indra et al., 2023). Penurunan performa ini berdampak pada efisiensi panel surya, khususnya pada daya output, baik tegangan maupun arus listriknya (Rozak et al., 2023).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah suhu pada panel surya guna meningkatkan efisiensinya. Salah satu metode adalah dengan sistem pendinginan menggunakan media air yang dialirkan di belakang sel surya. Penelitian menunjukkan bahwa sistem pendinginan ini dapat menurunkan suhu panel dari 50,92°C menjadi 34,36°C. Debit air sebesar 150 ml/s menghasilkan daya sebesar 45,36W dan efisiensi 10,07%, sementara tanpa pendingin, daya maksimum adalah 42,51W dengan efisiensi 9,44% (Bening & Dezetty, 2023).

Metode pendinginan lainnya termasuk penggunaan sistem sirkulasi udara panas dengan kipas dan kondensor (thermal ventilation). Penelitian menunjukkan bahwa panel surya tanpa sistem pendinginan memiliki tegangan output antara 34-35 V, arus antara 7,2-7,6A, dan daya output 252-281 W (Bening & Dezetty, 2023).

Pengembangan sistem pendinginan merupakan solusi untuk mengatasi masalah suhu pada panel surya (Jaya et al., 2023). Sistem pendingin bisa menggunakan media air atau angin, seperti kipas (Jaya et al., 2023). Penelitian mengenai pendinginan ini biasanya dilakukan dengan metode eksperimen dan simulasi (Indra et al., 2023).

Panel monocrystalline cenderung memiliki suhu kinerja yang tinggi, sedangkan pada panel polycrystalline, suhu yang meningkat dapat menurunkan kinerja panel (Bening & Dezetty, 2023). Oleh karena itu, menurunkan suhu permukaan panel dapat meningkatkan daya dan tegangan output (Bening & Dezetty, 2023).

Terdapat dua metode pendinginan panel PV: pendinginan aktif dan pasif. Pendinginan aktif menggunakan perangkat tambahan seperti kipas, blower, dan pompa untuk meningkatkan laju perpindahan kalor konveksi paksa, sementara pendinginan pasif tidak memerlukan daya tambahan dan mengandalkan konveksi alami. Meskipun pendinginan aktif lebih efisien, ia juga memerlukan lebih banyak daya (Bizzy, 2021).

Meskipun media pendingin memainkan peran penting dalam efisiensi PLTS, masih terdapat kekurangan studi yang membandingkan berbagai jenis media pendingin dalam hal efisiensi dan keberlanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja berbagai media pendingin guna memberikan panduan dalam pemilihan media pendingin yang paling efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini akan menggunakan media air dan angin, dengan metode pendinginan aktif dan pasif seperti kipas atau pompa, dan akan mengukur suhu setelah proses pendinginan selama periode tertentu.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Penelitian Terdahulu**

Penelitian Niranjan & Nikhil (2019) menunjukkan bahwa modul fotovoltaik monokristalin memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan modul polikristalin di berbagai kondisi cuaca di India (Baghel & Chander, 2022). Khadyair et al. (2017) menemukan bahwa daya keluaran modul fotovoltaik meningkat dengan suhu hingga sekitar 32-42°C untuk modul monokristalin dan 34-39°C untuk modul polikristalin; di luar rentang suhu ini, daya mulai menurun. Jamal (2023) melaporkan bahwa efisiensi PV monokristalin berkisar antara 15-25%, sementara polikristalin antara 14-17%. Mithun & Firoz (2023) mencatat bahwa PV monokristalin memiliki rasio kinerja 83,55, lebih tinggi dibandingkan polikristalin yang memiliki rasio 79,6. Selain itu, monokristalin menunjukkan nilai injeksi energi lebih tinggi ke grid dibandingkan polikristalin dalam berbagai orientasi. Kesimpulannya, PV monokristalin cenderung lebih efisien dibandingkan polikristalin,

terutama pada suhu yang lebih tinggi, meskipun pilihan antara keduanya mungkin dipengaruhi oleh biaya dan kondisi lingkungan.

#### B. Media Pendingin Pada PLTS

Arus tinggi pada modul PV dapat menyebabkan overheating, yang merusak sel surya, mempercepat degradasi, dan menurunkan tegangan, daya, serta efisiensi (Miftahhul & Djoko, 2016). Untuk mengatasi masalah ini dan meningkatkan efisiensi, digunakan sistem pendinginan, yang meliputi teknik aktif (berbasis cairan dan udara) dan pasif. Sistem pendinginan aktif dapat menurunkan suhu hingga 20°C dan meningkatkan efisiensi listrik modul PV hingga 13% (Miftahhul & Djoko, 2016). Namun, sistem pendinginan tidak boleh dioperasikan terus-menerus untuk menghindari efek cermin, dan konsumsi daya untuk pendinginan harus dipertimbangkan agar peningkatan daya modul PV tidak lebih kecil daripada konsumsi daya pendingin (Miftahhul & Djoko, 2016).

Sistem pendinginan aktif menggunakan energi, baik berupa udara atau cairan, untuk transfer panas (Miftahhul & Djoko, 2016). Media pendingin air dan udara dalam sistem pendinginan aktif menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi modul PV. Penelitian menunjukkan bahwa pendinginan dengan pompa adalah metode paling efektif untuk modul PV di iklim Mesir, sementara metode penyemprotan meningkatkan efisiensi PV polikristalin sebesar 12,17% dengan menurunkan suhu hingga 26°C (Sharaf et al., 2022; Sivakumar, 2021). Di sisi lain, pendinginan dengan kipas angin, yang menghasilkan kecepatan angin 3,56 m/s, memberikan kinerja terbaik dengan daya 151,55 W dan efisiensi 13,95% (Saputra & Arizona, 2023). Secara umum, pendinginan udara lebih efektif dibandingkan dengan pendinginan cair dalam menjaga suhu dan meningkatkan performa sel surya, meskipun biaya dan kondisi lingkungan juga mempengaruhi pilihan metode pendinginan.

#### C. PLTS Sebagai Energi Terbarukan

Penggunaan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk. Saat ini, sebagian besar energi listrik berasal dari sumber fosil, yang terbatas dan berdampak negatif pada lingkungan. Untuk mengatasi krisis energi, pemanfaatan energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mulai diperkenalkan (Rahmad, 2020). Indonesia memiliki potensi energi terbarukan lebih dari 400.000 Mega Watt (MW), dengan 50% di antaranya adalah potensi energi surya (Jaya et al., 2023). Namun, pemanfaatan energi surya saat ini baru mencapai sekitar 150 MW atau 0,08% dari potensi totalnya (Jaya et al., 2023). Mengingat Indonesia berada di garis khatulistiwa, pengembangan PLTS merupakan langkah penting untuk memanfaatkan potensi energi surya yang melimpah (Jaya et al., 2023).

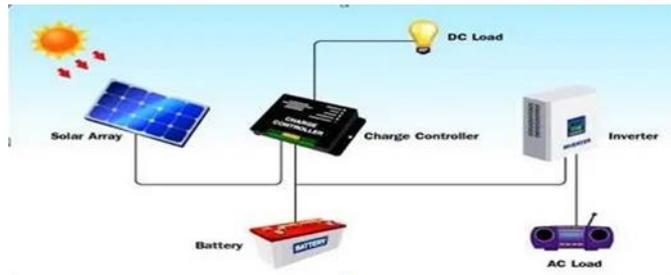
#### D. Konsep Dasar PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik melalui efek photovoltaic. Fenomena ini terjadi ketika cahaya matahari mengaktifkan elektron pada sel surya, menghasilkan arus listrik (Miftahhul & Djoko, 2016). PLTS merupakan sumber energi ramah lingkungan yang sangat cocok untuk Indonesia, negara tropis dengan sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun (Miftahhul & Djoko, 2016).

#### E. Prinsip Kerja PLTS

Photovoltaic adalah alat yang tersusun dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Modul PV merupakan salah satu teknologi energi terbarukan yang banyak digunakan di Indonesia hal ini dikarenakan PV yang rendah emisi karbon nya dan tidak membutuhkan perawatan. Selain itu iklim di Indonesia sangat cocok untuk penggunaan PV (Khumaidi, 2020).

PLTS bekerja dengan cara menyerap panas matahari kemudian energi yang dihasilkan akan disimpan didalam baterai dan dilakukan konversi energi dari DC ke AC menggunakan inverter sebelum kemudian dihubungkan ke beban (Alhamadani, 2021).



Gambar 1 Prinsip Kerja PLTS (Alhamadani, 2021)

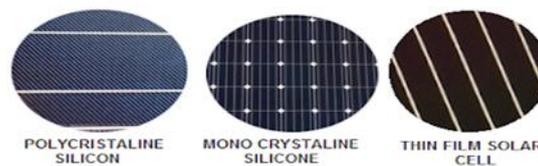
#### F. Efisiensi Panel Surya

Dalam menilai kualitas suatu fotovoltaic apakah bekerja dengan andal atau tidak, dan untuk menentukan mutunya bergantung pada nilai efisiensi yang diproduksi oleh photovoltaic tersebut. Apabila photovoltaic tersebut dapat memberikan efisiensi yang andal, maka energi yang dihasilkan akan maksimal dan rugi rugi akan semakin kecil (Setyaningrum, 2017). Photovoltaic dengan efisiensi yang besar dan kerugian yang kecil ini yang dapat disebut dengan photovoltaic yang baik. Efisiensi pada photovoltaic didasarkan pada beberapa kondisi, diantaranya: insolasi matahari, luas kolektor Fotovoltaic, dan energi kolektor yang dihasilkan Fotovoltaic (Setyaningrum, 2017).

Jumlah efisiensi sebuah panel surya sangat bergantung pada nilai PSH. PSH ini subjektif dan bergantung pada karakter setiap daerah dan termasuk juga lama penyinaran surya serta index kecerahan tempat tersebut (Setyaningrum, 2017).

#### G. Jenis-jenis Panel Surya

Modul PV bisa dikategorikan berdasarkan pada bahan penyusun sel surya. Secara umum terdapat tiga jenis panel surya, yaitu: (Hutahaeen, 2018).



Gambar 2 Jenis-Jenis Panel Surya  
(Sumber: Pinterest)

Monocrystalline Silicon (mono-Si) terbuat dari silicon kristal tunggal dengan efisiensi 16-25%. PV ini berwarna hitam pekat dan berbentuk persegi dengan sudut yang dipotong. Harganya tinggi dan efisiensinya menurun pada cuaca mendung (Hutahaeen, 2018). Polycrystalline Silicon (poly-Si) dibuat dengan melebur silicon dalam wadah keramik, menghasilkan silicon campuran yang lebih murah dengan efisiensi 14-18%. PV ini berwarna kebiruan dan berbentuk persegi. Memerlukan area lebih besar untuk menghasilkan energi yang sama tetapi tetap berfungsi pada cuaca berawan (Hutahaeen, 2018). Thin Film menggunakan beberapa lapisan bahan, seperti kaca atau logam, dengan efisiensi lebih rendah daripada silicon tetapi dapat diproduksi dengan biaya lebih murah dan fleksibel dalam berbagai ukuran dan bentuk (Hutahaeen, 2018).

### METODE PENELITIAN

#### A. Desain Penelitian

Penelitian ini akan mengadopsi desain eksperimental dengan pendekatan perbandingan untuk mengidentifikasi media pendingin terbaik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Berikut adalah flowchart penelitiannya:



## B. Populasi dan Sampel

Populasi yang akan diteliti adalah PLTS dengan media pendingin yang beroperasi di wilayah tertentu. Sampel penelitian akan dipilih secara acak dari PLTS yang ada di wilayah tersebut, dengan mempertimbangkan kriteria seperti ukuran PLTS, jenis modul surya, dan jenis media pendingin yang digunakan.

## C. Alur Penelitian

Alur dari penelitian ini adalah dengan membuat suatu instalasi PLTS dengan tambahan berupa Active cooling system dan untuk melakukan proses pendinginan pada panel surya dan melakukan perbandingan untuk mengambil kesimpulan akan media pendingin mana yang lebih efisien dalam menjaga temperatur dan kinerja PV.

## D. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini akan mencakup:

1. Modul surya Sistem pembangkit listrik tenaga surya (inverter, konverter daya, dll.)
2. Sistem pemantauan suhu modul surya. Media pendingin (pompa air).
3. Perangkat pengukuran temperatur, arus, dan tegangan PLTS.

## E. Sistem Pendingin

1. Sistem Pendingin Aktif (Active Cooling): Sistem pendingin ini menggunakan fan dan pompa air, dikendalikan secara otomatis dengan Arduino R3 dan sensor suhu DS18B20.
2. Arduino: Perangkat open-source untuk merancang perangkat elektronik dan software. Arduino IDE, mirip C++, mendukung lintas platform (Windows, Mac, Linux) untuk pemrograman (Arif et al., 2020).
3. Sensor DS18B20: Sensor suhu digital yang mengukur suhu dengan akurasi tinggi, ideal untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran suhu yang akurat dan andal (Rohmanita et al., 2023).
4. Sistem Pendinginan Aktif Menggunakan Pompa Air: Menggunakan pompa air untuk menurunkan suhu panel surya, menjaga efisiensi dan kinerja PV dengan kerja pompa yang terus menerus (Hutahaean, 2018).

## F. Desain Sistem Pendingin

Untuk mengatasi penurunan efisiensi akibat kenaikan temperatur, penelitian ini mengembangkan desain sistem pendingin untuk panel surya (PV). Sistem ini menggunakan nozzle dan pipa stainless yang dipasang di atas dan bawah panel surya. Nozzle mengalirkan air untuk pendinginan permukaan, sementara pipa stainless mendinginkan bagian bawah PV. Pemilihan stainless sebagai material dengan konduktivitas termal tinggi meningkatkan efektivitas pendinginan. Desain ini juga mempertimbangkan aspek ekonomis dan kemudahan instalasi untuk implementasi yang praktis.

## G. Prosedur Penelitian

Penelitian ini mengikuti prosedur yang terstruktur untuk mengevaluasi efisiensi sistem pendingin pada panel surya. Prosedur dimulai dengan pengumpulan data, yang meliputi pemasangan peralatan pengukuran suhu pada modul surya monokristalin, pemantauan suhu dengan media pendingin yang berbeda, dan pengumpulan data efisiensi PLTS menggunakan perangkat yang sesuai. Selanjutnya, analisis data dilakukan dengan membandingkan

efisiensi PLTS berdasarkan jenis media pendingin, menilai dampak lingkungan dan ekonomi dari masing-masing media, serta mengidentifikasi media pendingin terbaik. Proses penelitian diakhiri dengan penyusunan laporan yang merangkum temuan, analisis, dan kesimpulan dari penelitian tersebut.

#### H. Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini akan menggunakan metode statistik deskriptif dan analisis komparatif untuk mengevaluasi kinerja berbagai media pendingin dalam PLTS. Penulis akan mengumpulkan data terkait efisiensi energi, suhu operasional, biaya, dan dampak lingkungan dari setiap media pendingin yang diuji.

Selain itu, penulis akan memanfaatkan visualisasi data seperti grafik dan tabel untuk memberikan gambaran yang jelas dan mendalam terhadap hasil perbandingan. Semua langkah analisis data ini akan mendukung kesimpulan yang akurat dan memberikan dasar yang kuat untuk rekomendasi terkait pemilihan media pendingin terbaik untuk PLTS dengan pertimbangan efisiensi dan keberlanjutan.

#### I. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dari pukul 07:00 sampai pukul 17:00 yang akan bertempat di kampus Universitas Pamulang, Viktor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Sistem PLTS Off-Grid

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid adalah sistem yang menghasilkan listrik dari energi matahari untuk digunakan secara langsung oleh beban atau disimpan dalam baterai tanpa terhubung ke jaringan listrik PLN. Dalam penelitian ini dilakukan di rooftop gedung B kampus Universitas Pamulang menggunakan 3 buah panel surya jenis monokristalin berkapasitas 120Wp yang dirangkai paralel dengan sudut kemiringan 14 derajat dan menghadap ke arah timur. Komponen lainnya berupa 1 buah baterai berkapasitas 12V 5Ah, SCC jenis Pulse Width Modulation PWM dengan kapasitas 20A, dan inverter berkapasitas 1200W. Pada sistem PLTS ini, dalam pengambilan data berupa intensitas cahaya, temperatur, tegangan dan arus dari masing-masing dan seluruh panel surya. Hasil desain sistem panel surya seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 3 Sistem PLTS Off-Grid

### B. Pengujian Sistem Temperatur

Berdasarkan pengujian sistem pengukuran temperatur pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid, dapat disimpulkan bahwa terdapat konsistensi antara hasil pengukuran temperatur menggunakan sensor DS18B20 dan alat ukur thermo gun Omicron pada panel surya PV A, PV B, dan PV C. Meskipun terdapat sedikit perbedaan, dengan rata-rata error hanya sekitar 1.10% hingga 1.86%, kedua metode ini memberikan hasil yang cukup akurat dan dapat digunakan secara bergantian.

Pengujian selama 6 hari menunjukkan bahwa sensor DS18B20 cenderung mencatat suhu yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan thermo gun. Faktor seperti kondisi

cuaca, radiasi matahari, serta penggunaan pendingin pada beberapa panel surya turut mempengaruhi hasil pengukuran. Namun, perbedaan suhu yang terdeteksi antara kedua metode pengukuran tetap relatif kecil, mengindikasikan bahwa kedua alat ukur ini mampu memberikan gambaran yang akurat mengenai suhu panel surya sepanjang hari.

Secara keseluruhan, penggunaan sensor DS18B20 sebagai alat ukur temperatur pada sistem PLTS off-grid ini dapat diandalkan, terutama untuk monitoring suhu panel surya secara kontinu. Efektivitas pendingin juga terlihat dari perbedaan suhu yang tercatat antara panel surya yang menggunakan pendingin dan yang tidak, meskipun pengaruh ini masih dalam batas yang dapat diterima.

### C. Pengujian Sistem PLTS

Tujuan pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data perbedaan temperatur antara PV dan perbedaan Voltage Open Circuit (VOC) antar PV. Alat ukur yang digunakan adalah sensor suhu DS18B20 dan AVO Meter.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh data mengenai perbedaan temperatur dan tegangan open-circuit (VOC) antara panel fotovoltaik (PV) dengan dan tanpa pendingin. Penggunaan pendingin terbukti efektif dalam menjaga temperatur modul PV tetap rendah, yang berdampak positif terhadap efisiensi kerja PV. Panel yang dilengkapi dengan pendingin menunjukkan kinerja VOC yang lebih stabil dan tinggi dibandingkan panel tanpa pendingin, terutama saat terjadi peningkatan radiasi matahari.

Pengukuran intensitas cahaya yang dikonversi menjadi radiasi matahari juga menunjukkan korelasi positif yang kuat antara intensitas cahaya dan suhu modul PV, di mana peningkatan intensitas cahaya berbanding lurus dengan peningkatan radiasi dan suhu. Penggunaan pendingin pada PV A dan PV B berhasil menurunkan suhu operasional dan meningkatkan efisiensi, yang tercermin dari nilai VOC yang lebih tinggi dibandingkan PV C yang tidak menggunakan pendingin. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pengelolaan suhu melalui pendinginan pada modul PV sangat penting dalam menjaga efisiensi dan kinerja panel surya, terutama di bawah paparan radiasi matahari yang tinggi.

### D. Pengujian Sistem Keseluruhan

Dalam pengujian sistem panel surya ini, telah dilakukan pengambilan data terkait tegangan ( $V_{mp}$ ), arus ( $I_{mp}$ ), dan perhitungan daya dari setiap panel surya. Beberapa poin utama dari hasil pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pengisian dan Pengosongan Baterai
  - a) Baterai 12V 5Ah membutuhkan waktu 90 menit untuk pengisian penuh menggunakan panel surya dengan arus 3.5A.
  - b) Baterai dengan beban 3.5A habis dalam waktu sekitar 45 menit.
2. Pengukuran Tegangan dan Arus PV
  - a) Intensitas radiasi matahari bervariasi sepanjang hari, dengan nilai tertinggi 706,66 W/m<sup>2</sup> dan terendah 114,02 W/m<sup>2</sup>.
  - b) Temperatur panel surya juga berfluktuasi, dengan nilai maksimum mencapai 43,9 °C pada panel PV A.
  - c) Tegangan maksimum ( $V_{mp}$ ) relatif stabil antara 13,03 V hingga 18,92 V, sementara arus maksimum ( $I_{mp}$ ) bervariasi dari 0,6 A hingga 3,6 A.
  - d) Panel PV A, yang dilengkapi dengan sistem pendingin, menunjukkan arus maksimum tertinggi dan efisiensi konversi energi yang lebih baik dibandingkan PV B dan PV C.
3. Pengaruh Sistem Pendingin
  - a) Panel surya dengan sistem pendingin (PV A dan PV B) memiliki temperatur panel yang lebih rendah dibandingkan dengan PV C yang tanpa pendingin.
  - b) Penggunaan sistem pendingin berhubungan langsung dengan nilai  $I_{mp}$  yang lebih tinggi, terutama pada kondisi radiasi tinggi, menunjukkan peningkatan efisiensi konversi energi.

#### 4. Analisis Daya dan Efisiensi

- a) Panel surya dengan pendingin (PV A dan PV B) menunjukkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel tanpa pendingin (PV C).
- b) Rata-rata efisiensi panel surya yang dilengkapi pendingin lebih tinggi, yaitu 13.41% untuk PV A dan 12.09% untuk PV B, dibandingkan dengan PV C yang hanya 10.14%.
- c) Data menunjukkan bahwa PV A dan PV B memberikan daya keluaran yang lebih stabil dan tinggi, terutama pada kondisi radiasi matahari tinggi.

Secara keseluruhan, sistem pendingin pada panel surya memberikan dampak positif terhadap efisiensi dan performa panel. Panel dengan pendingin (PV A dan PV B) menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal daya keluaran dan efisiensi dibandingkan dengan panel tanpa pendingin (PV C). Oleh karena itu, penerapan sistem pendingin sangat disarankan untuk meningkatkan kinerja panel surya, terutama dalam lingkungan dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa temperatur memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi panel surya, di mana panel surya yang beroperasi pada suhu tinggi mengalami penurunan efisiensi konversi energi. Pengendalian suhu panel surya melalui sistem pendingin sangat krusial untuk memastikan kinerja optimal, terutama di daerah dengan suhu lingkungan yang tinggi. Desain sistem pendingin merupakan komponen kunci dalam meningkatkan efisiensi energi panel surya, di mana penelitian ini melibatkan penggunaan media pendingin berbasis cairan pada permukaan dan bawah panel surya. Sistem pendingin cairan memanfaatkan sirkulasi air untuk menyerap panas dari permukaan panel. Pengujian sistem pendingin dilakukan dengan metode eksperimen di lingkungan terkendali, dan hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin dapat menurunkan suhu permukaan panel dibandingkan dengan panel yang tidak menggunakan pendingin. Penurunan suhu ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi konversi energi. Analisis efisiensi menunjukkan bahwa panel surya dengan sistem pendingin pada permukaan (PV A) memiliki efisiensi terbaik dengan rata-rata 15,65%, sementara panel dengan pendingin sirkulasi air di bawah panel (PV B) memiliki rata-rata efisiensi 13,97%, dan panel tanpa sistem pendingin (PV C) memiliki efisiensi paling rendah, yaitu 12,91%. Hal ini membuktikan bahwa sistem pendingin pada PV A adalah yang paling efektif dalam meningkatkan efisiensi panel surya dibandingkan dengan pendingin pada PV B.

Untuk penelitian selanjutnya, desain sistem pendingin di bawah panel surya dapat terus dikembangkan dan dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk menguji berbagai jenis media pendingin dan konfigurasi sistem pendingin yang berbeda guna menemukan solusi yang paling efisien dan ekonomis.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Alhamadani. 2021. "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya."
- Bening, Ajeng, and dan Dezetty Monika. 2023. 2 Efek Penurunan Suhu Terhadap Daya Panel Surya Menggunakan Sistem Pendinginan.
- Bizzy, I, R Sipahutar, M Yanis, and dan A Sofijan. PENERAPAN LISTRIK DESA SECARA ON-GRID PLN DALAM UPAYA PENGHEMATAN BIAYA LISTRIK.
- Indra Bayu, Jaya, Irrine Budi Sulistiyawati, and Ni Putu Agustini. 2023. "Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya." *Jurnal FORTECH* 4(1): 27–32. doi:10.56795/fortech.v4i1.4104.

- Khadyair, Dr. Abdul Hussain A., Dr.Ahmed Hmeed wanas, and Jaafar Lateef Haji. 2017. "Volt-Ampere Characteristics for Arc Discharge in Low Pressure at Gas CO<sub>2</sub>." IOSR Journal of Applied Physics 09(02): 05–10. doi:10.9790/4861-0902020510.
- Khumaidi Usman, Mukhamad. 2020. "ANALISIS INTENSITAS CAHAYA TERHADAP ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN PANEL SURYA." Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik 9(2). <http://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/powerelektro>.
- Miftahhul Janna, Nurul, and dan Djoko Adi Widodo. 2016. Analisis Karakteristik Modul Panel Surya Dengan Sistem Pendingin Air. <http://ojs.uho.ac.id/index.php/jfe/>.
- Saputra, M Rizky, and Rafil Arizona. 2023. "Pengaruh Variasi Pendingin Pada Permukaan Bawah Panel Surya Terhadap Daya Output Dan Efisiensi." Jurnal Energi Dan Manufaktur 15(2): 112. doi:10.24843/jem.2022.v15.i02.p07.
- Sharaf, Mohamed, Mohamed S. Yousef, and Ahmed S. Huzayyin. 2022. "Review of Cooling Techniques Used to Enhance the Efficiency of Photovoltaic Power Systems." Environmental Science and Pollution Research 29(18): 26131–59. doi:10.1007/s11356-022-18719-9.
- Yuli Setyaningrum. 2017. Pengukuran Efisiensi Panel Surya Tipe Monokristalin Dan Karakterisasi Struktur Material Penyusunnya.