

# Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya Otomatis Untuk Peningkatan Optimalisasi Energi Listrik

Guido D. Kalandro<sup>1</sup>, Laksana Fajar Gumilang<sup>2</sup>, Bambang Sujanarko<sup>3</sup>, Muhammad Riza Darmawan<sup>4</sup>, Dodi Setiabudi<sup>5</sup>, Moh. Erdianto Triputrad<sup>6</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember 123456

Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Krajan Timur, Sumbersari, Kec. Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121

Email: [guidokalandro89@unej.ac.id](mailto:guidokalandro89@unej.ac.id)<sup>1</sup>, [elefge20@gmail.com](mailto:elefge20@gmail.com)<sup>2</sup>, [bambangsojanarko.teknik@unej.ac.id](mailto:bambangsojanarko.teknik@unej.ac.id)<sup>3</sup>, [muhammadrizadarmawan@unej.ac.id](mailto:muhammadrizadarmawan@unej.ac.id)<sup>4</sup>, [dodi@unej.ac.id](mailto:dodi@unej.ac.id)<sup>5</sup>, [199807112024061001@mail.unej.ac.id](mailto:199807112024061001@mail.unej.ac.id)<sup>6</sup>

## Abstrak

Potensi energi matahari sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, khususnya dalam konteks penggunaan panel surya dan sistem pendingin otomatis. Permasalahan penggunaan panel surya adalah bertambahnya suhu maka daya keluaran daya panel surya akan berkurang 0,5 % pada total daya yang dihasilkan. Eksperimen ini bertujuan merancang sistem otomatis pendingin panel surya dengan sirkulasi tertutup menggunakan Arduino Uno untuk menurunkan suhu dari panel surya tersebut. Panel surya yang digunakan memiliki kapasitas 20WP berjenis polikristalin, dan sistem pendingin menggunakan pipa tembaga berdimensi 3/8 Inch dan panjang 6,11 meter dengan watercoolant sebagai pendinginnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin berhasil menjaga suhu panel surya dalam rentang 33°C hingga 36°C, memberikan perbedaan 10°C hingga 20°C dengan panel surya tanpa pendingin pada intensitas cahaya yang sama. Panel surya berpendingin menunjukkan peningkatan tegangan, arus, dan daya, dengan rata-rata 1 Volt hingga 2 Volt, 0,1 ampere hingga 0,2 ampere, dan 1 watt hingga 2 watt lebih tinggi. Efisiensi panel surya juga meningkat sekitar 1-3%. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pemahaman tentang pemanfaatan energi matahari dan efektivitas sistem pendingin dalam meningkatkan efisiensi pemanenan energi listrik dari panel surya.

**Kata Kunci** — Panel Surya, Sistem Pendingin Otomatis, Pipa Tembaga

## Abstract

The potential of solar energy as an environmentally friendly alternative energy source, particularly in the context of utilizing solar panels and an automatic cooling system. The experiment aims to design an automatic cooling system for solar panels with a closed-loop circulation using Arduino Uno. The solar panels used have a capacity of 20WP and are of the polycrystalline type, while the cooling system utilizes copper pipes with dimensions of 3/8 Inch and a length of 6.11 meters, with water coolant as the cooling medium. The test results indicate that the cooling system successfully maintains the temperature of the solar panels within the range of 33°C to 36°C, providing a difference of 10°C to 20°C compared to panels without cooling under the same light intensity. The cooled solar panels show increased voltage, current, and power, with an average of 1 Volt to 2 Volts, 0.1 ampere to 0.2 amperes, and 1 watt to 2 watts higher. The efficiency of the solar panels also improves by approximately 1-3%. This research contributes to understanding the utilization of solar energy and

the effectiveness of the cooling system in enhancing the efficiency of harvesting electrical energy from solar panels.

**Keywords** — Solar Panel, Automatic Cooling System, Copper Pipe

## I. PENDAHULUAN

Energi matahari menawarkan potensi besar sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, dengan kemampuannya memancarkan energi yang melimpah dalam jangka waktu yang panjang. Saat ini, penggunaan manusia terhadap energi matahari hanya sekitar 1% dari total energi yang mencapai permukaan bumi. Jika dapat dimanfaatkan sebanyak 25%, ini dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan global pada batubara dan minyak bumi (Sukandarrumidi, 2013).

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring perkembangan industri, dan panel surya muncul sebagai alternatif yang melimpah dan ramah lingkungan. Umur panjang panel surya, berkisar antara 20 hingga 30 tahun, membuatnya menjadi investasi yang berkelanjutan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi manifestasi pemanfaatan energi matahari dengan menggunakan sel surya sebagai elemen semikonduktor yang mengonversi sinar matahari menjadi energi listrik melalui prinsip fotovoltaik.

Intensitas radiasi matahari menjadi faktor kunci yang memengaruhi efektivitas energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya. Peningkatan intensitas dapat dicapai dengan menambahkan reflector atau konsentrator, yang dapat meningkatkan daya keluaran sel surya hingga sekitar 46%. Namun, perlu diperhatikan bahwa peningkatan intensitas cahaya juga berdampak pada kenaikan suhu sel surya. Meskipun setiap kenaikan suhu 1°C dapat mengurangi total tenaga yang dihasilkan sekitar 0,5%, tantangan ini dapat diatasi dengan penggunaan sistem pendingin pada panel surya untuk meningkatkan efisiensi tegangan sel surya.

Permasalahan penggunaan panel surya dapat ditinjau dengan literatur review yang relevan.

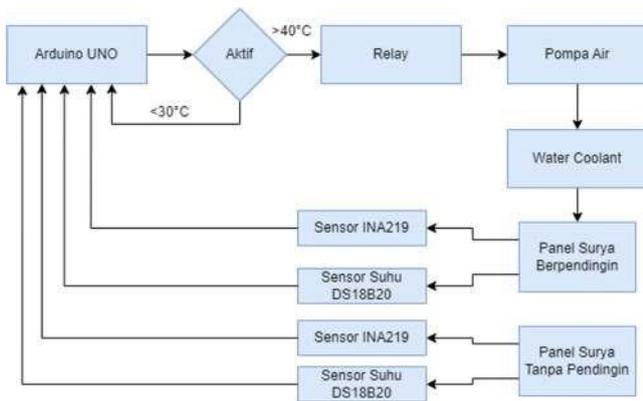


Dengan demikian, pengembangan teknologi dan manajemen yang baik dalam pemanfaatan energi matahari, terutama melalui panel surya dan inovasi seperti sistem pendingin, dapat menjadi langkah penting dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat secara berkelanjutan.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Diagram Blok Alir Penelitian

Berikut Gambar 1 merupakan diagram blok dari penelitian ini.

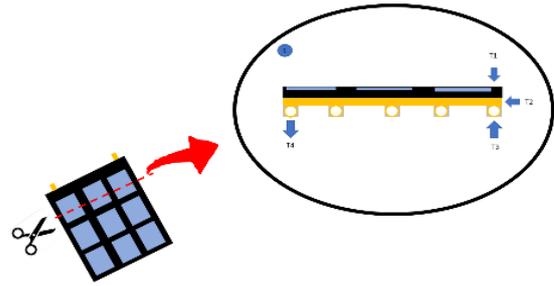


Gambar. 1 Diagram Blok Penelitian

Alat ini menggunakan dua sensor tegangan DC yang terhubung ke panel surya untuk mengukur tegangan yang dihasilkan, serta sensor INA219 untuk mengukur arusnya. Semua sensor ini terhubung ke Arduino Uno yang akan mengolah data dan menyimpannya ke modul sdcard. Sensor suhu DS18B20 yang tahan air digunakan untuk memonitor suhu permukaan panel. Arduino Uno juga mengendalikan relay untuk mengaktifkan pompa air saat suhu panel mencapai  $40^{\circ}\text{C}$  dan mematikannya saat suhu turun ke  $30^{\circ}\text{C}$ . Arus dan tegangan panel surya tanpa pendingin akan dibaca oleh sensor INA219 dan akan dikirimkan ke Arduino uno. Suhu pada panel surya tanpa pendingin juga akan dibaca oleh sensor DS18B20. Jadi terdapat 2 sensor INA219 dan 2 sensor DS18B20.

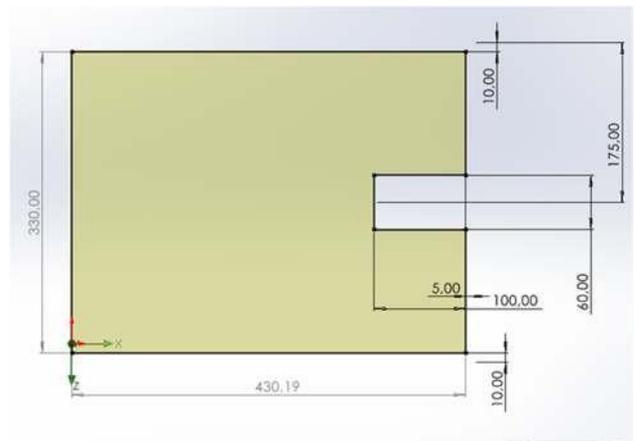
### B. Desain Alat

Gambarr. 2 menunjukkan desain pendingin panel surya tampak samping. T1 merupakan temperatur pada permukaan panel surya dengan suhu  $50^{\circ}\text{C}$ . T1 sama dengan T2, terjadi perpindahan panas konduksi dari panel surya ke pipa tembaga. Dikarenakan tebal tembaga panel surya serta pipa tembaga begitu tipis maka dianggap panas menembus ketiga komponen tersebut dengan sangat mudah dan mengakibatkan tidak terjadi perubahan temperatur.

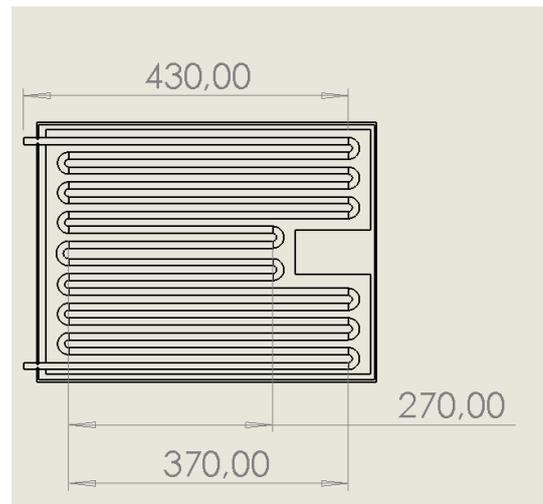


Gambarr. 2 Desain Pendingin Panel Surya Tampak samping

Pada T2 hingga T3 terjadi perpindahan panas secara konveksi dari permukaan pipa tembaga menuju fluida pendingin. Maka menentukan bilangan Reynold untuk melihat kondisi gerakan fluida. Diameter hidrolis berasal dari diameter pipa. Kemudian, menentukan kecepatan aliran maksimal dengan debit pompa maksimum (2 Liter/m) pada perhitungan.



Gb. 3 Desain Lempeng tembaga bagian bawah panel



Gb. 4 Desain Lempeng tembaga bagian bawah panel

Gambar 3 dan 4 masing-masing menunjukkan Desain Lempeng tembaga bagian bawah panel dan Lempeng tembaga bagian bawah panel. Desain pipa tembaga bagian belakang pendingin panel surya Pendingin panel surya ini menggunakan pipa tembaga yang dialiri watercoolant, dengan ukuran pipa tembaga 3/8 inch. Panjang pipa yaitu 6,11 meter. Pipa tembaga tersebut ditempelkan dibagian belakang panel surya bersama dengan lempeng tembaga berukuran 33 cm × 43 cm.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Hasil yang dibahas yaitu analisis desain pendingin panel surya dan pengaruh pendingin terhadap suhu, keluaran arus, dan tegangan.

#### A. Analisis Desain Pendingin Panel Surya

Panel surya polycrystalline yang dipakai pada penelitian ini memiliki lebar 35 cm, panjang 45 cm, dan tebal 1,6 cm. Pendingin menggunakan pipa tembaga dengan tebal pipa 0,81 mm, dan diameter 3/8 inch. Total panjang pipa yang digunakan yaitu 5,14 meter. Pompa air yang digunakan memiliki spesifikasi flow rate 1,5 hingga 2 liter/m.



Gb. 4 Desain Lempeng tembaga bagian bawah panel

TABEL 1  
 PROPERTY FLUIDA

Massa jenis	995,77
Viskositas kinematic	0.00081186
Koduktifitas termal fluid	0.61661
Pr number	5.36
Capasitas termal	4071

$$2 \frac{l}{m} = 0,33 \frac{l}{s} = 0,00033 \text{ m}^3/s$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,00033 \text{ m}^3/s}{\left(\frac{0,009525}{2}\right)^2 \cdot \pi}$$

$$v = 4,63 \text{ m/s}$$

menentukan Reynolds number untuk mengetahui jenis aliran akan bersifat laminar, transisi, atau turbulen.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

$$Re = \frac{995,77 \text{ m}^3/s \cdot 4,63 \text{ m/s} \cdot 0,009525 \text{ m}}{0,00081186 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re = 54048$$

Sesuai dengan klasifikasi Reynolds bahwa nilai yang lebih dari 4000, maka aliran diklasifikasikan bersifat turbulen dengan gerak acak dan campuran yang kuat antar partikel-fluida.

Nusselt Number

$$Nu = 0.023 * 54048^{0,8} * 5,53^{0,3}$$

$$Nu = 234.8$$

Kemudian menentukan koefisien konveksi untuk menggambarkan kemampuan suatu material atau permukaan dalam mentransfer panas melalui konveksi. Konveksi adalah salah satu mekanisme utama perpindahan panas yang terjadi karena pergerakan massa fluida (gas atau cair) di sekitar permukaan.

$$h = \frac{k \cdot Nu}{d}$$

$$h = \frac{0,61661 * 234.8}{0,009525}$$

$$h = 15191 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Kemudian menentukan jumlah massa yang melintasi suatu penampang tertentu dalam suatu sistem per unit waktu atau disebut flow rate.

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\dot{m} = 995,77 * 4,64 \cdot \frac{\pi \cdot 0,009525^2}{4}$$

$$\dot{m} = 0,32 \text{ kg/s}$$

Maka massa flow sebesar 0,32 kg/s, bahwa perpindahan massa setiap detiknya yaitu 0,32 kg. Perubahan temperatur pada fluida pendingin panel surya



$$15191 \cdot \pi \cdot 0,009525 \cdot 6,11 \cdot \left(50 - \frac{t + 28}{2}\right) = 0,32 \cdot 4071 \cdot (t - 28)$$

$$t = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Mengetahui waktu yang diperlukan pendingin dalam menurunkan suhu tiap 1°C

$$= \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{Q}$$

$$t = \frac{(0,32 \text{ kg/s}) \cdot (4,186 \text{ J/kg}) \cdot (1^{\circ}\text{C})}{133.952 \text{ J/s}}$$

$$t = \frac{13395.2 \text{ J}}{133.952 \text{ J/s}}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

Jadi, pendingin panel surya dapat menurunkan suhu panel surya 1°C setiap 10 detiknya. Alat pendingin diatur mmenurunkan suhu dari 40° C hingga 30° C, sehingga diperkirakan pendingin dapat menurunkan suhu hingga 10° C lebih rendah dengan waktu 100 detik.

### B. Analisis Pengujian Panel Surya

Pengujian sistem pendingin panel surya ini dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu merangkai komponen yang sudah di tentukan untuk digunakan. Tahap kedua yaitu pengujian alat sekaligus percobaan pengambilan data yang bertujuan untuk mengecek kelayakan alat untuk digunakan. Pengambilan data dilakukan selama 5 hari

#### 1. Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Panel Surya

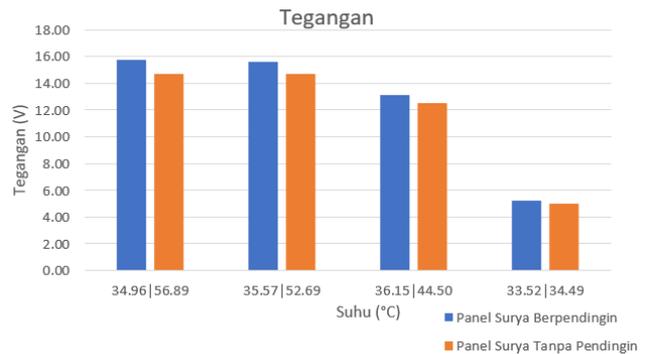
TABEL II

RATA-RATA NILAI SUHU DAN TEGANGAN PANEL SURYA

Suhu Udara (°C)	Suhu Panel Surya Berpendingin (°C)	Suhu Panel Surya Tanpa Pendingin (°C)	Tegangan Panel Surya Berpendingin (V)	Tegangan Panel Surya Tanpa Pendingin (V)
33-34	34.96	56.89	15.78	14.70
31-32	35.57	52.69	15.60	14.60
29-30	36.16	44.50	13.11	12.52
25-27	33.53	34.49	5.23	4.98

Pada suhu udara antara 33°C hingga 34°C, panel surya berpendingin menunjukkan suhu panel rata-rata sekitar 34.96°C dengan tegangan rata-rata 15.78 Volt. Sementara itu, panel surya tanpa pendingin pada hari pertama memiliki suhu panel rata-rata 56.89°C dan tegangan rata-rata 14.70 Volt. Pada suhu udara 31°C hingga 32°C, suhu panel surya berpendingin stabil pada 35.57°C, sedangkan panel surya tanpa pendingin memiliki suhu rata-rata 52.69°C, yang turun seiring dengan suhu udara. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya berpendingin adalah 15.60 Volt, sedangkan pada panel surya

tanpa pendingin sebesar 14.60 Volt. Pada suhu udara 25°C hingga 27°C, suhu panel surya berpendingin adalah 33.35°C, sedangkan pada panel surya tanpa pendingin adalah 34.49°C. Nilai rata-rata tegangan pada panel surya berpendingin adalah 5.23 Volt, sementara pada panel surya tanpa pendingin sebesar 4.98 Volt. Dari lima hari pengujian, nilai tertinggi tegangan dihasilkan oleh panel surya pada suhu 33°C hingga 34°C karena menunjukkan intensitas cahaya matahari yang tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu memiliki dampak signifikan pada keluaran tegangan panel surya, dengan selisih antara panel surya berpendingin dan tanpa pendingin sekitar 0.5 Volt hingga 1 Volt.



Gb. 5 Perbandingan pengaruh suhu terhadap tegangan

Pada Gb. 5 menunjukkan bahwa pada lima hari pengujian rata-rata nilai suhu panel surya berpendingin berada antara 34 °C hingga 36°C sementara pada panel surya tanpa pendingin nilai suhu rata-rata berada antara 57°C hingga 34°C. Tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya berpendingin yaitu antara 5 Volt hingga 16 Volt. Tegangan tersebut lebih tinggi dibanding panel surya tanpa pendingin. Rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh panel surya tanpa pendingin yaitu antara 4 Volt hingga 14 Volt. Nilai tersebut membuktikan bahwa suhu panel berpengaruh pada keluaran tegangan yang dihasilkan dengan nilai iradiasi sama antara keduanya.

Penelitian pengaruh suhu terhadap tegangan yang dihasilkan oleh panel panel surya dapat dibuktikan dengan persamaan

$$V = V_{ref} \times [1 + \alpha \times (T - T_{ref})] \times \frac{G}{G_{ref}}$$

$$V = 18 \times [1 + (-0.004) \times (34,96 - 25)] \times \frac{668}{1000}$$

$$V = 18 \times [0.974] \times \frac{668}{1000}$$

$$V = 12,50$$

Terbukti bahwa antara perhitungan dengan pengukuran di lapangan tidak terpaut jauh. Pada perhitungan 12,50 Volt sedangkan pada pengukuran sebesar 15,78 Volt.

## 2. Pengaruh Suhu Terhadap Arus Panel Surya

TABEL III  
 RATA-RATA NILAI SUHU DAN ARUS PANEL SURYA

Suhu Udara (°C)	Suhu Panel Surya Berpendingin (°C)	Suhu Panel Surya Tanpa Pendingin (°C)	Arus Panel Surya Berpendingin (A)	Arus Panel Surya Tanpa Pendingin (A)
33-34	34.96	56.89	0.80	0.66
31-32	35.57	52.69	0.79	0.64
29-30	36.16	44.50	0.66	0.55
25-27	33.53	34.49	0.26	0.24

Pada suhu udara 33°C hingga 34°C, panel surya berpendingin menunjukkan keluaran rata-rata arus sebesar 0,80 Ampere pada suhu panel rata-rata 34,96°C. Sebaliknya, panel surya tanpa pendingin menghasilkan keluaran rata-rata arus sebesar 0,66 Ampere pada suhu panel rata-rata 56,89°C. Kedua panel menerima rata-rata iradiasi matahari sebesar 668 W/m<sup>2</sup>. Arus tertinggi dari panel surya berpendingin tercatat pada pengujian suhu udara 33°C hingga 34°C, dan nilai arus menurun seiring penurunan suhu udara. Faktor ini dapat dijelaskan oleh peningkatan intensitas cahaya matahari yang meningkatkan iradiasi, dan panel surya menyerap iradiasi ini untuk menghasilkan arus keluaran.

Selama 5 hari pengujian, suhu panel surya berpendingin berkisar antara 33°C hingga 36°C, sedangkan panel surya tanpa pendingin memiliki suhu berkisar antara 34°C hingga 57°C. Arus yang dihasilkan oleh panel surya berpendingin bervariasi antara 0,26 Ampere hingga 0,80 Ampere, sedangkan panel surya tanpa pendingin menghasilkan arus antara 0,24 Ampere hingga 0,66 Ampere. Panel surya berpendingin menghasilkan arus yang lebih besar, dengan selisih sekitar 0,1 Ampere hingga 0,2 Ampere dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Hasil penelitian di atas sesuai dengan persamaan berikut:

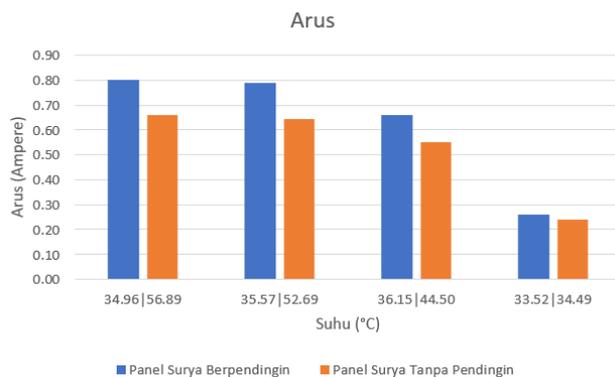
$$I = I_{ref} \times [1 + \alpha \times (T - T_{ref})] \times \frac{G}{G_{ref}}$$

$$I = 1,14 \times [1 + (-0,004) \times (34,69 - 25)] \times \frac{668}{1000}$$

$$I = 1,14 \times [0,974] \times \frac{668}{1000}$$

$$I = 0,731 \text{ Ampere}$$

Hal tersebut membuktikan bahwa antara perhitungan dengan pengukuran di lapangan tidak terpaut jauh. Pada perhitungan 0,731 Ampere sedangkan pada pengukuran sebesar 0,800 Ampere.



Gb. 6 Perbandingan pengaruh suhu terhadap arus

## 3. Pengaruh Suhu Terhadap Daya Panel Surya

Daya berbanding lurus dengan arus dan tegangan. Pada data sebelumnya menunjukkan bahwa arus dan tegangan dari panel surya berpendingin memiliki rata-rata yang lebih besar dibandingkan arus dan tegangan pada panel surya tanpa pendingin. Suhu panel surya mempengaruhi daya yang dihasilkan, hal ini dapat dibuktikan dengan perhitungan berikut:

$$P = P_{ref} \times [1 + \alpha \times (T - T_{ref})] \times \frac{G}{G_{ref}}$$

$$P = 20 \times [1 + (-0,004) \times (34 - 25)] \times \frac{668}{1000}$$

$$P = 20 \times (0,974) \times 0,668$$

$$P = 13,89 \text{ Watt}$$

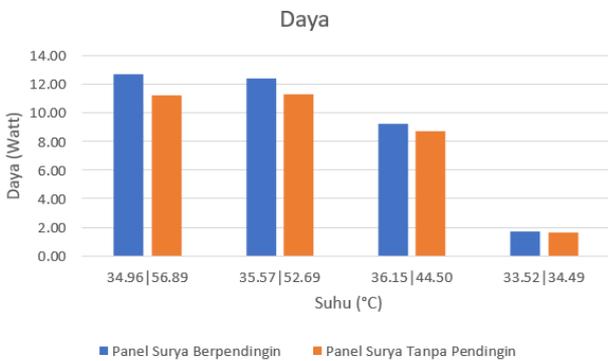
Pada perhitungan tersebut menunjukkan pada panel surya berkapasitas 20 WP dengan iradiasi 668 W/m<sup>2</sup> dan suhu panel 34°C menghasilkan daya sebesar 12,87 Watt. Dengan koefisien penurunan daya panel surya 20 WP terhadap suhu yaitu sebesar -0,004. Jika dibandingkan dengan daya ukur di lapangan yaitu 12,70 Watt. Menunjukkan bahwa suhu sangat berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh panel surya. Tabel IV merupakan perbandingan antara daya ukur, daya perhitungan terhadap suhu panel surya.

TABEL IV  
 RATA-RATA NILAI SUHU DAN ARUS PANEL SURYA

Suhu Udara (°C)	Suhu Panel 1 (°C)	Suhu Panel 2 (°C)	Daya Panel 1 (Watt)	Daya Panel 2 (Watt)
33-34	34.96	56.89	12.70	11.24
31-32	35.57	52.69	12.44	11.30
29-30	36.16	44.50	9.26	8.69
25-27	33.53	34.49	1.72	1.63

NB: Panel 1: Panel Surya Berpendingin, Panel 2: Panel Surya Tanpa Pendingin

Selama lima hari pengujian, rata-rata daya yang dihasilkan oleh panel surya berpendingin secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata daya yang dihasilkan oleh panel surya tanpa pendingin. Pada suhu 33°C hingga 34°C, panel surya berpendingin mencapai rata-rata daya sebesar 12,70 Watt pada suhu rata-rata 34,96°C, sementara panel surya tanpa pendingin pada hari pertama dengan suhu rata-rata 56,89°C menghasilkan daya rata-rata sebesar 11,24 Watt. Pada suhu 31°C hingga 32°C, panel surya berpendingin menghasilkan rata-rata daya sebesar 12,44 Watt pada suhu rata-rata 35,57°C, sedangkan panel surya tanpa pendingin menghasilkan rata-rata daya sebesar 11,30 Watt pada suhu 52,69°C. Pada suhu udara terendah, yaitu antara 25°C hingga 27°C, panel surya berpendingin menghasilkan daya rata-rata sebesar 1,71 Watt, sedangkan panel surya tanpa pendingin menghasilkan 1,63 Watt. Pada suhu udara rendah, perbedaan rata-rata suhu panel tidak signifikan, karena intensitas matahari rendah dan iradiasi yang diserap juga kecil.



Gb. 7 Perbandingan pengaruh suhu terhadap daya

Pada 5 hari penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata daya yang dihasilkan oleh panel surya berpendingin lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Rata-rata suhu panel surya berpendingin berkisar antara 33°C hingga 36°C sedangkan pada panel surya tanpa pendingin rata-rata suhu panel surya berkisar antara 34°C hingga 56°C. sementara, daya yang dihasilkan berselisih 1 watt hingga 2 watt. Pada panel surya berpendingin menghasilkan rata-rata daya 2 watt hingga 13 watt. Sedangkan pada panel surya tanpa pendingin memiliki rata-rata daya 2 watt hingga 11 watt. Hal ini membuktikan bahwa suhu panel surya sangat berpengaruh pada daya yang dihasilkan. Semakin tinggi suhu panel surya, maka daya yang dihasilkan akan semakin rendah.

#### 4. Analisis Efisiensi Panel Surya

Efisiensi adalah ukuran keberhasilan suatu kegiatan yang dinilai berdasarkan besarnya biaya atau sumber daya yang diperlukan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Penerapan pendingin pada panel surya bertujuan meningkatkan daya yang dihasilkan, yang erat kaitannya dengan efisiensi panel surya. Efisiensi panel surya cenderung menurun seiring dengan kenaikan suhu, dengan laju penurunan sekitar 0,5% per derajat

Celsius (Filip et al., 2016). Semakin kecil jumlah sumber daya yang diperlukan untuk mencapai hasil yang diharapkan, semakin efisien proses tersebut dianggap. Efisiensi sel surya ( $\eta$ ) diukur sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya intensitas matahari. Analisis efisiensi panel surya bertujuan untuk memperoleh nilai seberapa efisien penggunaan panel surya tersebut, dihitung menggunakan rumus yang mencerminkan perbandingan antara daya keluaran dengan intensitas matahari.

$$\eta = \frac{P_{max} \text{ (maximum power point)}}{E \text{ (incident radiation flux)} \times A_c \text{ (area of collector)}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{15.76 \text{ Watt}}{668 \text{ Wm}^2 \times (0.3 \text{ m} \times 0.4 \text{ m})} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{12.70 \text{ Watt}}{668 \text{ Wm}^2 \times (0.12 \text{ m})} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{12.70 \text{ Watt}}{80.16} \times 100\%$$

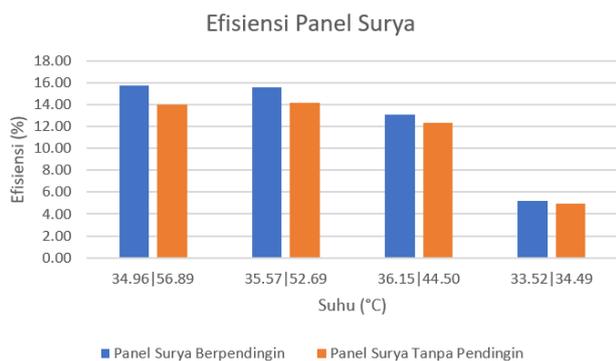
$$\eta = 15.84\%$$

Setelah dilakukan percobaan selama 5 hari dari pukul 09:00 hingga pukul 15:00 WIB. Didapatkan data dan dikelompokkan sesuai suhu udara sekitar guna mengetahui pengaruh suhu terhadap efisiensi panel surya. TABEL V data rata-rata suhu panel surya dan efisiensi dari panel surya dilihat dari daya yang dihasilkan.

TABEL V  
 RATA-RATA NILAI SUHU DAN ARUS PANEL SURYA

Suhu Udara (°C)	Suhu Panel Surya Berpendingin (°C)	Suhu Panel Surya Tanpa Pendingin (°C)	Efisiensi Panel Surya Berpendingin (%)	Efisiensi Panel Surya Tanpa Pendingin (%)
33-34	34.96	56.89	15.76	13.96
31-32	35.57	52.69	15.58	14.18
29-30	36.16	44.50	13.09	12.31
25-27	33.53	34.49	5.22	4.93

Ketika suhu udara berada pada 33°C hingga 34°C rata-rata suhu pada panel surya berpendingin yaitu sebesar 34°C sementara pada panel surya tanpa pendingin rata-rata suhunya menyentuh 56°C. Pada suhu tersebut masing-masing panel memiliki efisiensi 15,76% pada panel surya berpendingin dan 13,96% pada panel surya tanpa pendingin. Suhu rata-rata pada panel surya berpendingin selalu lebih rendah dibanding panel surya tanpa pendingin dengan kondisi suhu udara yang sama diantara keduanya. Daya yang dihasilkan oleh panel surya berpendingin juga lebih besar 1 watt hingga 2 watt, sehingga efisiensi pada panel surya berpendingin juga lebih tinggi dibanding panel surya tanpa pendingin. Berikut perbandingan pengaruh suhu terhadap efisiensi panel surya.



Gb. 8 Perbandingan pengaruh suhu terhadap daya

Rata-rata efisiensi panel surya berpendingin 13% hingga 16% pada kondisi intensitas cahaya dan iradiasi yang ideal sedangkan pada panel surya tanpa pendingin 12% hingga 14%. Nilai tersebut 1% hingga 2% lebih rendah dibandingkan panel surya berpendingin. Kedua panel surya tersebut menerima iradiasi yang sama namun dengan suhu panel surya yang berbeda. Pada gambar 8 menunjukkan bahwa suhu panel surya mempengaruhi efisiensi panel surya dalam daya yang dihasilkan. Semakin tinggi suhu panel maka efisiensi panel akan berkurang. Namun, juga memperhatikan iradiasi yang diterima oleh panel surya. Jika iradiasi yang diterima sedikit maka efisiensi panel juga berkurang.

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Pendingin Panel Surya Otomatis Untuk Peningkatan Pemanenan Energi Listrik" didapatkan beberapa kesimpulan antara lain:

1. Sistem pendingin panel surya dapat mendinginkan panel surya dengan rata-rata suhu yang didapatkan antara 33°C hingga 36°C. Suhu tersebut lebih dingin 10°C hingga 20°C dibanding panel surya tanpa pendingin dengan intensitas cahaya matahari yang sama pada kedua panel. Pada panel surya tanpa pendingin memiliki rentang suhu antara 45°C hingga 56°C. Hal ini, membuktikan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik.
2. Panel Surya berpendingin memiliki tegangan, arus, dan daya lebih tinggi dibandingkan panel surya tanpa pendingin. panel surya dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar rata-rata 1 volt hingga 2 volt. Dan arus yang dihasilkan juga lebih besar rata-rata 0,1 ampere hingga 0,2 ampere. Dengan alat pendingin panel surya dapat menghasilkan daya 1 Watt hingga 2 watt lebih besar dibanding panel surya tanpa pendingin.
3. Panel surya berpendingin lebih efisien 1% hingga 3% dibandingkan panel surya tanpa pendingin. Pada data yang telah didapat bahwa panel surya berpendingin memiliki efisiensi rata-rata 13% hingga 16% sedangkan pada panel surya tanpa pendingin memiliki efisiensi rata-rata 12% hingga 14%. Sehingga dengan alat pendingin panel surya yang menjaga suhu panel surya 30 °C hingga 40 °C, dapat meningkatkan efisiensi panel

surya sebesar 1% hingga 3%

#### REFERENSI

- [1] Ahmed, A.M. & Hassan Danook, S. 2018. Efficiency improvement for solar cells panels by cooling. 2nd International Conference for Engineering, Technology and Sciences of Al-Kitab, ICETS 2018.
- [2] Almanda, D. & Bhaskara, D. 2018. Studi Pemilihan Sistem Pendingin pada Panel Surya Menggunakan Water Cooler, Air Mineral dan Air Laut. RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga lIStrik kOMputeR), 1(2).
- [3] Burdick Joseph & Schmidt Philip 2018. Install Your Own Solar Panels. Food Policy, .
- [4] DeGunther, R. 2008. Energy Efficient Homes for Dummies. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment.
- [5] Fauzi, R. 2020. Sistem Pendingin Panel Surya Otomatis Untuk Meningkatkan Daya Listrik Yang Dihasilkan. Jember: Politeknik Negeri Jember.
- [6] Harjono, D. 2012. Pengantar Ringkas Sistem Listrik Tenaga Surya. Mambruk Energy International. Bandung.
- [7] Iskandar. H. R. 2020. Praktis Belajar Pembangkit Listrik Panel Surya. Bandung: Universitas Jenderal Achmad Yani.
- [8] Napitupulu, R.A.M., Simajuntak.S.& S. 2017. Pengaruh Material Monokristal dan Polikristal Terhadap Karakteristik Sel Surya 20 Wp dengan Trackingsistem Dua Sumbu. Universitas HKBP Nommensen Medan.
- [9] Sandro Putra, Ch.R. 2016. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal. Seminar Nasional Cendekiawan, 6(1).
- [10] Sudjito 2015. Teknologi Tenaga Surya Pemanfaatan Dalam Bentuk Energi Panas.
- [11] Sundaravadelu. S, 2017. Solar Photovoltaic Power System. Notion Press.
- [12] Abimanyu. G. W, Kanoto, & B. Winardi. 2017. Analisis Pengaruh Perubahan Temperatur Dan Irradiasi Pada Tegangan, Arus Dan Daya Keluaran PLTS GRID 380 V. Transient. 6(2), 30-42.
- [13] Amelia.A.R, dkk. 2016. Investigation of the Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance. International Jurnal On Advanced Science Engineering Information Technology. Vol.6 (2016) No. 5
- [14] Ehtishaan. M & Saifee. M. R. 2016. Simulation Based Intelligent Water Cooling System For Improvement The Efficiency Of Photo-Voltaic Module. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol.5 Issue.7, July- 2016, pg. 535-544.
- [15] Fathi, M. 2015. "Study of thin film solar cells in high temperature condition". EnergyProcedia, 74, 1410 – 1417.
- [16] Filip. G. C, G. M. Tina & Sandro. N. 2016. Photovoltaic Panels: A Review Of The Cooling Techniques. Transactions Of Famena XI - Special Issue 1.
- [17] Joseph. B & Philip. S. Install Your Own Solar Panel. Storey Publishing. North Adams.
- [18] Saad. O, & Masud. B. 2011. Improving Photovoltaic Module Efficiency Using WaterCooling. Heat Transfer Engineering, 30(6):499-505.

