

Studi Eksperimen Variasi Laju Aliran Pendinginan dan Pelapisan Kaca Film pada Panel Surya Bersistem *Tubular Cooler*

Intan Hardiatama*, Nigel Gavriel Devlin, Santoso Mulyadi, Hary Sutjahjono, Fahrur Rozy Hentitu, Nasrul Iliminafik, Muhammad Trifiananto

Teknik Mesin, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No.37, Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68121, Indonesia

*E-mail: intan.hardiatama@unej.ac.id

Diajukan: 30-01-2024; Diterima: 21-08-2024; Diterbitkan: 31-08-2024

Abstrak

Panel surya dapat mengubah energi matahari menjadi listrik, Penggunaan panel surya masih memiliki kendala, salah satunya adalah efisiensi daya keluaran yang masih rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi daya keluaran panel surya adalah dengan mengatur temperatur panel surya. Temperatur panel surya yang terlalu tinggi akan mengurangi efisiensi panel surya, sehingga diperlukan sistem pendinginan untuk menjaga temperatur panel surya tetap pada temperatur yang optimal. Variasi laju aliran pada *tubular cooler* serta pelapisan kaca film digunakan pada penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *tubular cooler* dan kaca film pada panel surya terhadap daya keluaran, efisiensi maupun temperatur yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan menggunakan sistem pendingin *tubular cooler* dan kaca film pada panel. Pengambilan data dilakukan selama 6 hari dikondisi luar lapangan. Tingkat kegelapan kaca film divariasikan dan membaginya menjadi dua kelompok penelitian. Pada penelitian pertama digunakan kaca film 0% dan variasi laju aliran 1,2 L/menit, 1,6 L/menit dan 2 L/menit. Pada kelompok penelitian kedua menggunakan kaca film 20% dan variasi laju aliran 1,2 L/menit, 1,6 L/menit dan 2 L/menit. Hasil penelitian pada kelompok pertama menunjukkan panel surya mengalami penurunan temperatur terbesar hingga 11,69%. Penurunan temperatur yang terjadi, menghasilkan peningkatan daya keluaran hingga mencapai 31,88% dibanding panel tanpa pendingin. Pada penelitian kelompok kedua, penggunaan kaca film 20% sangat efektif dalam menurunkan temperatur panel hingga 15,84%, tetapi mengalami penurunan daya keluaran. Penurunan ini disebabkan karena adanya pengurangan intensitas matahari yang diterima oleh panel.

Kata kunci: kaca film; panel surya; *tubular cooler*

Abstract

Solar panels are used to convert solar energy into electricity. Solar panel temperature that are too high will reduce the efficiency of solar panels, so a cooling system is needed to keep the temperature of solar panels at an optimal temperature. Variations in the flow rate of the tubular cooler and film coating are used in this study. The purpose of this study is to determine the effect of tubular coolers and window film on solar panels on the output power, efficiency and temperature produced. The research method used is an experimental method by comparing panels without coolers with panels with tubular cooler cooling systems and window film. Data collection was carried out for 6 days in outdoor conditions. The darkness level of the window film was varied and divided into two research groups. The first study used 0% window film and flow rate variations of 1.2 L/min, 1.6 L/min and 2 L/min. The second research group used 20% window film and flow rate variations of 1.2 L/min, 1.6 L/min and 2 L/min. The results of the research in the first group showed that the solar panels experienced the largest temperature drop of up to 11.69%. The decrease in temperature that occurred, resulted in an increase in output power up to 31.88% compared to panels without cooling. In the second group of studies, the use of 20% window film was very effective in reducing panel temperature up to 15.84%, but experienced a decrease in output power. This decrease is due to the reduction in solar intensity received by the panel due to the coating of window film with a considerable degree of darkness.

Keywords: window film; solar panel; *tubular cooler*

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara tropis yang terletak di khatulistiwa, memiliki sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun. Matahari sebagai sumber energi pembangkit listrik telah menjadi perhatian utama di Indonesia [1]. Pemanfaatan energi surya dapat menjadi solusi untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang tidak terbarukan dan

mengurangi emisi gas rumah kaca. Panel surya adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan.

Penggunaan panel surya masih memiliki kendala, salah satunya adalah efisiensi daya keluaran yang masih rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi daya keluaran panel surya adalah dengan mengatur temperatur panel surya. Temperatur panel surya yang terlalu tinggi akan mengurangi efisiensi panel surya, sehingga diperlukan sistem pendinginan untuk menjaga temperatur panel surya tetap pada temperatur yang optimal [2]. Penggunaan sistem pendingin panel surya secara aktif merupakan solusi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi daya keluaran panel surya. Pendinginan secara aktif pada panel surya dapat mengurangi temperatur panel secara signifikan. Penurunan rata-rata sebesar 41,7%, peningkatan daya keluaran panel surya sebesar rata-rata 17,88% dan efisiensi panel surya sebesar rata-rata 17,82% [3].

Penelitian sebelumnya meneliti sistem pendingin pada panel surya, terdapat penelitian yang menggunakan sistem pendingin aktif berupa *tubular cooler* dengan solar simulator untuk menguji daya keluaran panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendingin *tubular cooler* mampu menurunkan temperatur panel surya hingga 6°C lebih rendah dibandingkan tanpa sistem pendingin [4]. Penelitian selanjutnya dilakukan eksperimen untuk menganalisis pengaruh penggunaan nanofluida (Al_2O_3) menggunakan *tubular cooler*. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan laju aliran fluida pendingin antara 0,8 hingga 1,6 L/menit. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan nanofluida dengan konsentrasi 3% menghasilkan penurunan temperatur permukaan panel fotovoltaik yang paling signifikan, yaitu sebesar 23,14%. Hal ini juga berdampak pada peningkatan daya keluaran panel sebesar 13% dibandingkan dengan panel tanpa pendinginan [5].

Penelitian lainnya membahas mengenai memaksimalkan performa penggunaan modul *photovoltaic* (PV) dengan mengurangi temperatur panel menggunakan kaca film sebagai pelapis pada permukaan panel. Penelitian menggunakan kaca film poliester dengan tingkat kegelapan 40%, 60%, dan 80%. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kaca film memberikan pengaruh yang signifikan terhadap daya keluaran panel surya sebesar 23,53-24,39%. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa penggunaan kaca film dapat meningkatkan daya keluaran panel surya [6].

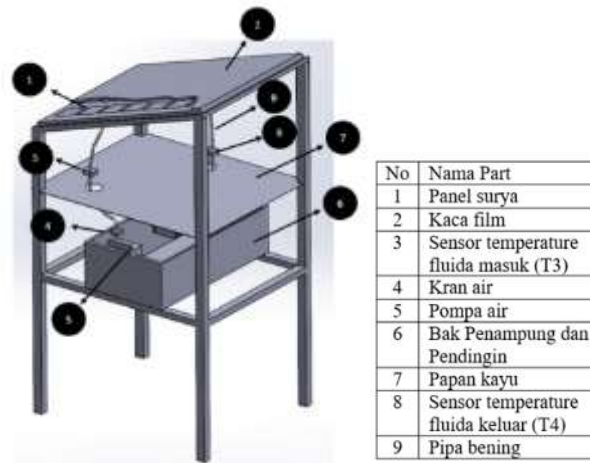
Kombinasi pendingin aktif berupa aliran air pada *tubular cooler* dan pendingin pasif berupa kaca film belum pernah dilakukan sebelumnya untuk meningkatkan daya keluaran panel surya. Maka diharapkan dengan penggunaan air pada *tubular cooler* sebagai sistem pendinginan panel surya serta kaca film sebagai pelapis pada permukaan panel dapat menurunkan suhu dan meningkatkan efisiensi lebih tinggi. Hal ini dapat mengaktifkan panel surya dalam menghasilkan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kaca film dan laju aliran terhadap daya keluaran panel surya.

2. Material dan metodologi

Penelitian ini dilakukan di atap Gedung Islamic Development Bank (ISDB). Penelitian dimulai pada bulan Oktober 2023, dengan jadwal operasional pengambilan data dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB. Sudut kemiringan panel yang digunakan adalah 12° dengan panel menghadap ke utara guna memperoleh intensitas matahari yang maksimal.

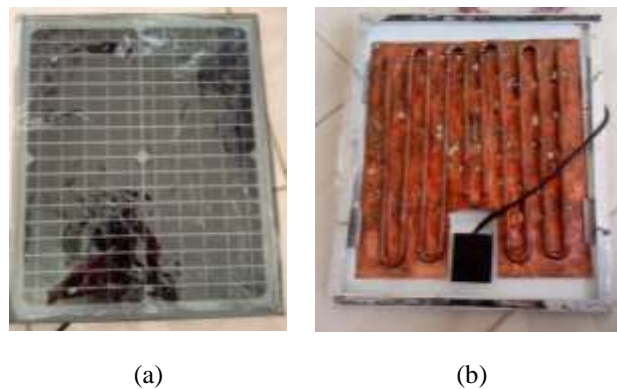
Metode penelitian eksperimental digunakan dalam penelitian ini. Penelitian dilakukan dengan membandingkan enam variasi yang berbeda pada panel surya. Variasi pertama dan variasi kedua yaitu panel surya dengan sistem pendingin air dengan laju aliran 1,2 L/menit menggunakan pelapisan kaca film 0% dan 20%. Variasi ketiga dan variasi keempat yaitu panel surya dengan sistem pendingin air dengan laju aliran 1,6 L/menit menggunakan pelapisan kaca film 0% dan 20%. Variasi kelima dan variasi keenam yaitu panel surya dengan sistem pendingin air dengan laju aliran 2 L/menit menggunakan pelapisan kaca film 0% dan 20%. Sistem pendingin yang digunakan pada panel surya menggunakan *tubular cooler* dengan

bahan pipa tembaga. Susunan pemasangan panel surya dengan semua perangkat pengukuran yang dibutuhkan dan elemen-elemen pendukungnya seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian peletakkan komponen pada panel surya

Desain sistem pendingin panel surya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Sistem pendingin kaca film (b) Sistem pendingin *tubular cooler*

Prosedur penelitian yang digunakan sebagai berikut: (1) Merangkai sistem pendingin pada panel surya; (2) Meletakkan sensor temperatur pada panel surya; (3) Menyalakan pompa dan mengatur laju aliran air pendingin; (4) Mengukur temperatur pada panel surya serta air pada tempat yang sudah ditentukan; (5) Mengukur intensitas, temperatur lingkungan dengan *data logger* arduino; (6) Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit mulai pukul 08.00 sampai 15.00 WIB selama 6 hari. Pada penelitian ini, data yang diambil berupa data tegangan, arus, temperatur dan intensitas matahari guna menganalisis temperatur, daya keluaran, efisiensi dan perpindahan panas. Alat dan bahan yang digunakan panel surya, *data logger* lux meter 0-200k lux, modul sd card, *data logger* sensor arus INA219, *data logger* sensor temperatur DS18B20, lux meter, kran air, pompa air, solder timah, pipa tembaga 3/8 inci, 9 meter, plat tembaga 1 mm, selang bening 3/8 inci, kaca film, U bend pipa tembaga 3/8 inci, *thermal paste* dan air.

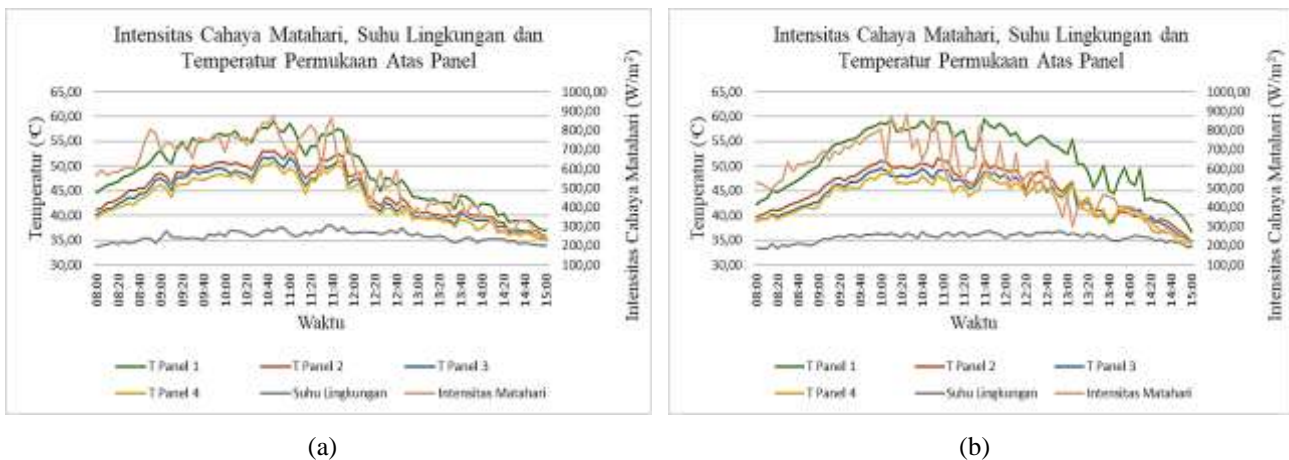
Penelitian dibagi menjadi 2 kelompok penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 1. Penelitian hari pertama dilakukan selama tiga hari pada tanggal 28 Oktober sampai 30 Oktober 2023. Penelitian kedua juga dilakukan selama tiga hari pada tanggal 31 oktober, 1 November dan 5 November 2023. Penelitian dilakukan pada tanggal diatas dikarenakan pada hari tersebut tidak turun hujan .

Tabel 1. Konfigurasi pada penelitian

Kelompok Penelitian	Konfigurasi	Perlakuan
Penelitian pertama	Panel 1	Panel tanpa perlakuan
	Panel 2	Laju aliran 1,2 L/menit dan kaca film 0%
	Panel 3	Laju aliran 1,6 L/menit dan kaca film 0%
	Panel 4	Laju aliran 2 L/menit dan kaca film 0%
Penelitian kedua	Panel 1	Panel tanpa perlakuan
	Panel 2	Laju aliran 1,2 L/menit dan kaca film 20%
	Panel 3	Laju aliran 1,6 L/menit dan kaca film 20%
	Panel 4	Laju aliran 2 L/menit dan kaca film 20%

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Intensitas dan Temperatur Panel Surya



Gambar 3. (a) Kelompok penelitian pertama (b) Kelompok penelitian kedua

Gambar 3 (a) menunjukkan grafik intensitas matahari, temperatur lingkungan dan temperatur permukaan panel pada kelompok penelitian pertama. Panel tanpa pendingin menunjukkan temperatur rata-rata tertinggi sebesar $49,12^{\circ}\text{C}$, sementara panel dengan sistem pendinginan menunjukkan terjadinya penurunan temperatur. Panel 2,3 dan 4 memiliki temperatur rata-rata berturut-turut $45,21^{\circ}\text{C}$, $44,11^{\circ}\text{C}$ dan $43,23^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran pendinginan, semakin besar kemampuan sistem pendingin dalam menurunkan temperatur panel surya [7].

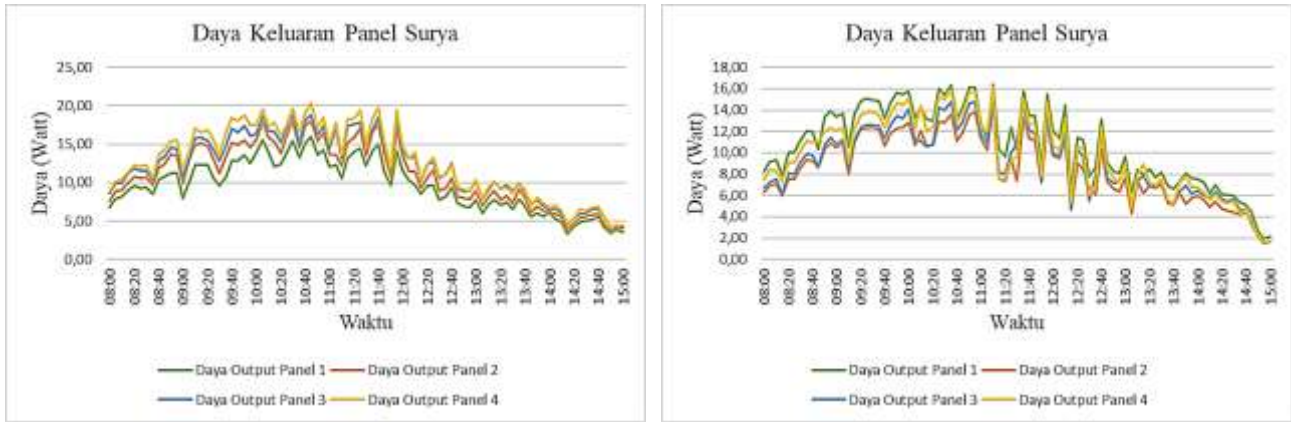
Intensitas matahari tertinggi pada pukul 10.45 WIB sebesar $881,12 \text{ W/m}^2$. Pada waktu tertentu terdapat kondisi dimana temperatur panel tinggi tetapi memiliki intensitas matahari yang rendah. Hal ini disebabkan oleh intensitas matahari yang bersifat fluktuatif, sedangkan panel surya memiliki respon perubahan temperatur yang tidak cepat berubah. Temperatur pada permukaan panel membutuhkan waktu untuk mengalami kenaikan maupun penurunan temperatur [8]. Temperatur permukaan panel yang berubah-ubah juga dipengaruhi beberapa faktor, yakni adanya kecepatan angin yang berhembus melewati panel, temperatur lingkungan dan tipe instalasi panel surya [9].

Gambar 3 (b) menunjukkan grafik intensitas matahari, temperatur lingkungan dan temperatur permukaan panel pada kelompok penelitian kedua. Hasil pengukuran temperatur pada panel 1 memiliki temperatur rata-rata sebesar $51,71^{\circ}\text{C}$. Panel 2,3 dan 4 memiliki temperatur rata-rata sebesar $45,16^{\circ}\text{C}$, $44,07^{\circ}\text{C}$ dan $43,34^{\circ}\text{C}$. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar tingkat kegelapan kaca film, maka akan semakin besar pula kemampuan menolak panas sehingga memberikan efek positif terhadap penurunan temperatur pada panel surya [10].

Selain itu, perubahan intensitas sinar matahari dan temperatur lingkungan juga mempengaruhi performa panel surya. Intensitas rata-rata mencapai $555,83 \text{ W/m}^2$. Cuaca berawan mengakibatkan penurunan intensitas matahari dalam beberapa

saat. Nilai intensitas matahari juga mencatat penurunan selama siang hingga sore hari, yang disebabkan oleh kondisi cuaca berawan yang semakin tebal [11].

3.2. Daya Keluaran Panel Surya



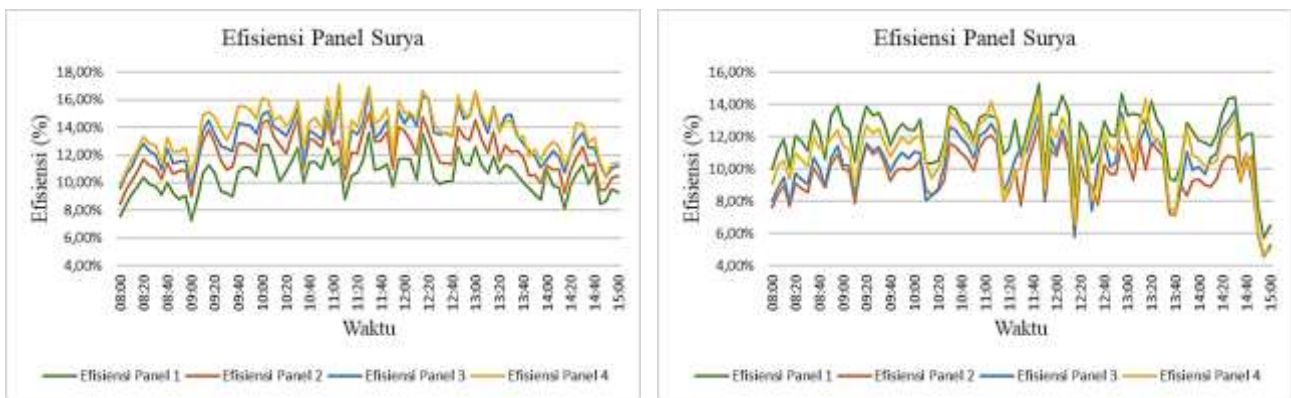
(a) (b)

Gambar 4. (a) Kelompok penelitian pertama (b) Kelompok penelitian kedua

Pada Gambar 4 (a) ditunjukkan gambar grafik daya keluaran panel surya pada kelompok penelitian pertama. Panel pertama memiliki daya keluaran rata-rata sebesar 9,64 W. Panel kedua memiliki daya keluaran rata-rata sebesar 11,13 W, hal ini menunjukkan terjadi peningkatan daya keluaran rata-rata sebesar 14,87%. Panel ketiga menunjukkan peningkatan daya keluaran rata-rata sebesar 26,39% dengan daya keluaran rata-rata mencapai 12,17 W. Daya keluaran rata-rata terbesar terjadi pada panel 4 mencapai 12,76 W, dengan daya keluaran tertinggi mencapai 20,39 W pada pukul 10.45 WIB. Adanya laju aliran air yang memberikan pendinginan serta kaca film yang menolak panas pada panel, mampu menurunkan temperatur permukaan panel dan meningkatkan daya keluaran [12].

Pada Gambar 4.5 ditunjukkan gambar grafik daya keluaran panel surya. Pada kelompok penelitian kedua terlihat adanya penurunan daya keluaran akibat penggunaan kaca film 20%. Panel 1 memiliki daya keluaran terbesar mencapai 10,68 W. Panel yang dilapisi kaca film 20% justru mengalami penurunan daya keluaran. Panel 2,3 dan 4 memiliki daya keluaran rata-rata sebesar 8,57 W, 9,17 W dan 9,81 W. Penurunan ini disebabkan oleh pengurangan intensitas matahari yang diterima oleh panel surya akibat kaca film 20% yang mengurangi potensi konversi energi matahari menjadi daya listrik [11].

3.3. Efisiensi Panel Surya



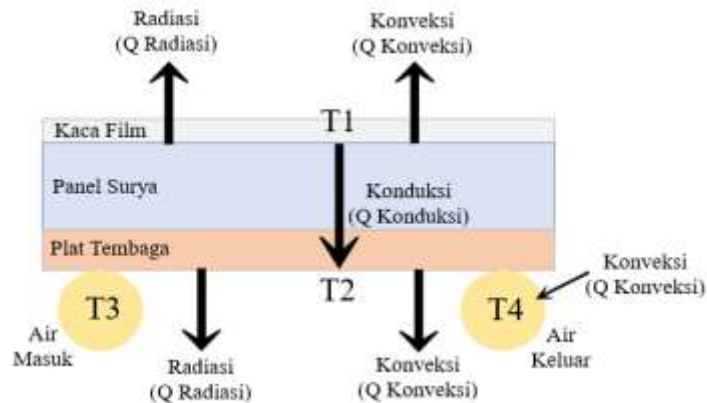
(a) (b)

Gambar 5. (a) Kelompok penelitian pertama (b) Kelompok penelitian kedua

Gambar 5 (a) ditunjukkan gambar grafik efisiensi panel surya pada kelompok penelitian pertama. Panel pertama memiliki efisiensi rata-rata sebesar 10,50%, dengan efisiensi tertinggi mencapai 13,60% pada pukul 11.30 WIB. Panel kedua memiliki efisiensi rata-rata sebesar 12,05%, dengan efisiensi tertinggi mencapai 15,04% pada pukul 11.30 WIB. Panel ketiga, dengan laju aliran air yang lebih tinggi, menunjukkan efisiensi rata-rata sebesar 13,26%. Pada panel keempat, dengan laju aliran air maksimum tercatat efisiensi rata-rata sebesar 13,82. Setiap peningkatan temperatur 1°C pada panel, efisiensi dapat mengalami penurunan sekitar 0,5%. Peningkatan laju aliran air serta pelapisan kaca film membantu dalam menjaga temperatur panel surya tetap rendah, sehingga meningkatkan efisiensi panel surya [13].

Pada gambar 5 (b) ditunjukkan gambar grafik efisiensi panel surya pada kelompok penelitian kedua. Panel pertama, memiliki efisiensi rata-rata sebesar 12,09%, dengan efisiensi tertinggi mencapai 15,27% pada pukul 11.45 WIB. Panel dengan kaca film 20% justru mengalami penurunan efisiensi. Panel 2 memiliki efisiensi rata-rata sebesar 9,67%, efisiensi tertinggi mencapai 12,64% pada pukul 11.45 WIB. Panel ketiga, dan keempat menunjukkan efisiensi rata-rata sebesar 10,38% dan 11,01%. Penurunan efisiensi disebabkan oleh adanya penurunan intensitas matahari yang diterima panel akibat pelapisan film 20% [10].

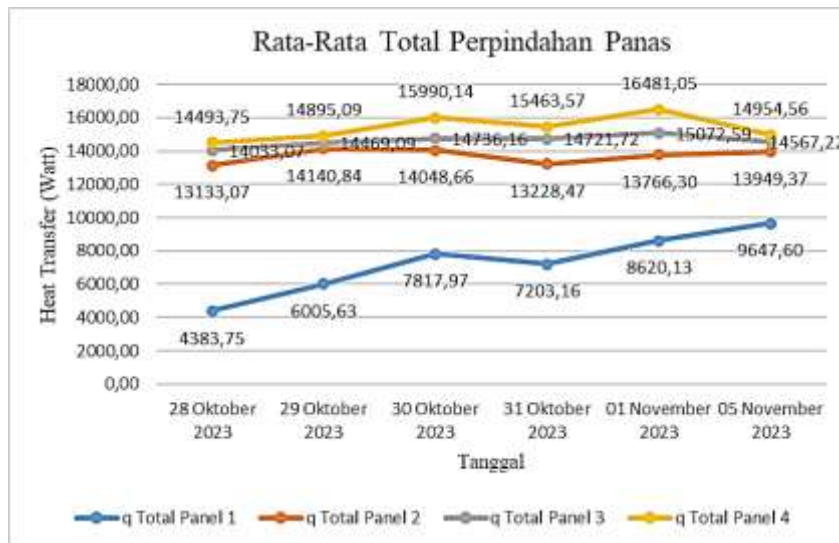
3.4. Perpindahan Panas Panel Surya



Gambar 5. Skema aliran perpindahan panas pada panel surya

Skema aliran perpindahan panas yang terjadi saat penelitian ini pada panel surya dengan menggunakan pendingin air dapat dilihat pada Gambar 5. Perpindahan panas konveksi, terjadi pada permukaan atas panel surya dengan lingkungan serta bagian permukaan bawah plat tembaga dengan lingkungan. Perpindahan panas konduksi juga terjadi dari permukaan atas panel surya ke permukaan bawah panel surya kemudian merambat ke bagian atas plat tembaga dan mencapai bagian bawah permukaan plat tembaga. Panas yang diterima plat tembaga kemudian akan dibuang oleh aliran air yang ada pada pipa tembaga, pada proses ini terjadi konveksi pada air masuk dan keluar dengan pipa tembaga. Terakhir perpindahan panas radiasi antara permukaan atas panel surya dengan lingkungan serta bagian permukaan bawah plat tembaga dengan lingkungan [14].

Penelitian penggunaan sistem pendinginan pada panel surya dilakukan selama enam hari dan dibagi menjadi dua kelompok penelitian. Rata-rata total perpindahan panas pada tiap harinya dapat dilihat pada Gambar 6. Perhitungan perpindahan panas total didapat dari penjumlahan hasil perpindahan panas konveksi, radiasi dan konduksi. Rata-rata total perpindahan panas pada panel 4 bisa mencapai 15.379,69 W sedangkan pada panel tanpa pendingin hanya mencapai 7279,71 W. Pada panel 2 dan 3 yang menggunakan pendingin juga memiliki perpindahan panas yang cukup besar yakni 13.711,12 W dan 14.599,97 W. Selisih rata-rata total perpindahan panas antara panel 1 dan panel 4 mulai 28 Oktober-5 November berturut turut memiliki perbedaan sebesar 30,2 % ; 40,3% ; 48,9% ; 46,5% ; 52% ; 64,5%.



Gambar 6. Rata-rata total perpindahan panas

Panel dengan sistem pendingin memiliki rata-rata total perpindahan panas yang lebih besar dibanding panel tanpa pendingin. Hal ini dikarenakan panas yang diterima permukaan atas panel akan merambat menuju plat tembaga yang memiliki temperatur lebih rendah. Panas yang diterima plat tembaga akan menuju aliran air yang ada pada *tubular cooler* untuk dibuang panasnya. Sehingga laju aliran yang besar, mampu membuang panas lebih banyak pada panel serta penggunaan kaca film yang mampu menolak panas dan menyebabkan penurunan temperatur pada panel [15]. Adanya selisih temperatur yang besar pada panel maupun pada temperatur lingkungan akibat pendinginan membuat total perpindahan panas menjadi sangat besar. Perpindahan panas yang besar, menghasilkan penurunan temperatur yang besar pula, hal ini yang menyebabkan efisiensi panel semakin meningkat [16].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem pendingin yang mampu meningkatkan daya keluaran terbesar terdapat pada panel dengan kaca film 0% dan laju aliran terbesar 2 L/menit. Rata-rata persentase peningkatan daya keluaran mencapai 31,88%. Daya keluaran yang meningkat disebabkan sistem pendingin yang mampu menurunkan temperatur panel hingga 11,69% dibanding panel tanpa pendingin. Sistem pendingin yang mampu menurunkan temperatur panel terbesar terdapat pada panel dengan kaca film 20% dengan laju aliran terbesar 2 L/menit. Rata-rata penurunan temperatur mencapai 15,84% dibanding panel tanpa pendingin. Penggunaan kaca film 20% pada panel mampu menurunkan temperatur panel dan menurunkan daya keluaran panel. Penurunan daya keluaran disebabkan adanya pengurangan intensitas matahari yang diterima oleh panel. Sistem pendingin laju aliran dan pelapisan kaca film pada panel surya dapat meningkatkan perpindahan panas yang terjadi pada panel. Perpindahan panas yang besar disebabkan adanya selisih temperatur yang besar pada panel maupun pada temperatur lingkungan akibat pendinginan

Daftar Pustaka

- [1] Riafinola H, Suciningtyas IKLN, Sholihuddin I, Puspita WR. Rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya pada penggunaan listrik rumah tangga. *J Appl Electr Eng.* 2022;6(2).
- [2] Loegimin MS, Sumantri B, Nugroho MAB, Hasnira H, Windarko NA. Sistem pendinginan air untuk panel surya dengan metode fuzzy logic. *J Integr.* 2020;12(1).

- [3] Syatauw NSF, Simanjuntak A, Titahelu N. Analisis kinerja panel surya akibat pendinginan aktif. *Isometri*. 2023;2(1).
- [4] Marausna G. Pengujian sistem pendingin panel surya berbentuk tubular cooler dengan solar simulator untuk menguji daya keluaran panel surya. *Tek STTKD J Tek Elektron Engine*. 2021;7(1).
- [5] Murtadha TK, Hussein AA. Optimization the performance of photovoltaic panels using aluminum-oxide nanofluid as cooling fluid at different concentrations and one-pass flow system. *Results Eng*. 2022;15.
- [6] Mahindra R, Malik Jurusan Fisika U. Pengaruh serapan sinar matahari oleh kaca film terhadap daya keluaran plat sel surya. Vol. 2, *JOM FMIPA*. 2015.
- [7] Murtadha TK, Dil Hussein AA, Alalwany AAH, Alrwashdeh SS, Al-Falahat AM. Improving the cooling performance of photovoltaic panels by using two passes circulation of titanium dioxide nanofluid. *Case Stud Therm Eng*. 2022;36.
- [8] Makkulau A, Samsurizal S, Kevin S. Karakteristik temperatur pada permukaan sel surya polycrystalline terhadap efektifitas daya keluaran pembangkit listrik tenaga surya. *SUTET*. 2020;10(2).
- [9] V. F. Abast dkk. Analisa suhu permukaan terhadap daya output solar cell 10 wp tipe monocrystalline. *J Tek Mesin*. 2023;3(2).
- [10] Pawawoi A, Pranata VA. Peningkatan daya output photovoltaik dengan penambahan lapisan kaca film pada permukaannya. *J Nas Tek ELEKTRO*. 2020;9(3).
- [11] Tira HS, Natsir A, Anwar MS. Studi Eksperimental pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe Polycrystalline. *ROTASI*. 2017;19(4).
- [12] Ajeng Bening D. Efek Penurunan Suhu Terhadap Daya Panel Surya Menggunakan Sistem Pendinginan. Efek Penurunan Suhu Terhadap Daya Panel Surya Menggunakan Sist Pendinginan Ajeng. 2023;2(1).
- [13] Prima Dewi R. Sistem pendingin panel surya otomatis untuk meningkatkan daya keluaran panel surya. *Simetris J Tek Mesin, Elektro dan Ilmu Komput*. 2023;14(1).
- [14] Jack P. Holman. *Heat Transfer, Holman*. Vol. 9 MB, McGraw-Hill, Inc, New York. 2010.
- [15] Hardiatama I, Trifiananto M. Efek pemasangan isolator terhadap konsumsi bahan bakar lpg mesin sangrai biji kopi industri kecil. *SINTEK J J Ilm Tek Mesin*. 2018;12(2).
- [16] Munthaha M, Rudi Cahyono G, Razi Ansyah P. Pengaruh variasi kecepatan udara terhadap laju perpindahan panas pada pendinginan panel surya. *J POROS Tek*. 2020;12(1).