

# Analysis of the Effectiveness of Copper Pipes as a Thermal Cooling System for Solar Panels

## [Analisa Efektivitas Pipa Tembaga Sebagai Sistem Pendingin Termal pada Panel Surya]

Hanif Ramadhan <sup>1)</sup>, Jamaaluddin Jamaaluddin <sup>2)</sup>, Akhmad Ahfas <sup>3)</sup> Izza Anshory<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>3)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>4)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: jamaaluddin@umsida.ac.id

**Abstract.** *This study evaluates the effectiveness of a cooling system using water-fed copper pipes to reduce the temperature of solar panels and its impact on system performance. The cooling system is equipped with an automatic valve that regulates the water flow based on the temperature detected by the sensor. Tests were conducted at the University of Muhammadiyah Sidoarjo by measuring the parameters of voltage, current, power, and surface temperature of solar panels. By using 2 solar panels with a power of 100 wp. The results showed that the use of a cooling system can reduce the panel temperature, which has an impact on increasing the output voltage and power. Solar panels with cooling using copper pipes show a significant improvement in performance compared to those without cooling.*

**Keywords -** Solar Panel; Cooling System; Copper Pipe; Automatic Valve

**Abstrak.** *Penelitian ini mengevaluasi efektivitas sistem pendinginan menggunakan pipa tembaga yang dialiri air untuk menurunkan suhu pada panel surya dan dampaknya terhadap kinerja sistem. Sistem pendinginan ini dilengkapi dengan valve otomatis yang mengatur aliran air berdasarkan suhu yang terdeteksi oleh sensor. Pengujian dilakukan di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dengan mengukur parameter tegangan, arus, daya, dan suhu permukaan panel surya. Dengan menggunakan 2 buah Panel Surya berdaya 100 wp. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendinginan dapat menurunkan suhu panel, yang berdampak pada peningkatan tegangan dan daya keluaran. Panel surya dengan pendinginan menggunakan pipa tembaga menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan dibandingkan tanpa pendingin.*

**Kata Kunci -** Panel Surya; Sistem Pendingin; Pipa Tembaga; Valve Otomatis

## I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara tropis. Terletak pada lintang  $6^{\circ}$  LU- $11^{\circ}$  LS dan  $95^{\circ}$  BT- $141^{\circ}$  BT dari garis Khatulistiwa. Oleh karena itu, potensi panas Indonesia tinggi, yaitu sekitar 4.8 kWh/m<sup>2</sup> per hari[1]. Dengan potensi tersebut Indonesia memiliki sumber daya panas yang melimpah. Sebagai negara kepulauan, banyak desa di Indonesia yang tidak memiliki listrik. Kementerian ESDM melaporkan bahwa 12.669 desa di Indonesia tidak memiliki akses listrik, dan 2.519 di antaranya masih tanpa penerangan sama sekali[2]. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan jaringan PLN dalam menjangkau banyak wilayah di Indonesia dan banyaknya potensi energi surya yang belum dimanfaatkan secara efektif., Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem yang fleksibel dan mudah digunakan menjadi salah satu solusi alternatif yang layak dipertimbangkan sebagai sumber listrik[3].

Panel Surya adalah perangkat utama yang berfungsi mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang ramah lingkungan[4]. Panel Surya bekerja pada suhu optimal 46-49°C dan tingkat efisiensi sebesar 6,1-6,7%[5]. Hal ini menyebabkan suhu Panel Surya meningkat dan menurunkan efisiensi konversi energi. Jika suhu Panel Surya diturunkan menjadi 42°C, efisiensinya dapat meningkat menjadi 7,0-7,8%[6][7]. Oleh karena itu, sistem pendinginan termal yang efektif sangat penting untuk menjaga suhu operasi Panel Surya agar tetap optimal dan meningkatkan kinerja keseluruhan sistem.

Sistem pendinginan sangat penting untuk menjaga suhu operasi Panel Surya agar tetap optimal dan meningkatkan kinerja keseluruhan sistem. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan pipa tembaga sebagai sistem pendingin termal. Tembaga memiliki sifat konduktivitas termal yang tinggi, menyerap dan mengalirkan panas. Sifat tersebut dapat menurunkan suhu dan menjaga suhu Panel Surya dalam batas optimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui efektivitas pipa tembaga yang dialiri air dalam menurunkan suhu dan temperatur pada Panel Surya. Sehingga Panel Surya tersebut dapat bekerja secara optimal. Hal ini dilakukan dengan membandingkan antara Output daya dan tegangan yang dihasilkan pada Panel Surya tanpa pendingin dengan pendingin.

Keunggulan penelitian ini adalah penggunaan valve otomatis pada input dan output pipa. Dengan menyesuaikan aliran air berdasarkan suhu yang diterima sehingga valve dapat bekerja. Banyak penelitian sebelumnya telah membahas berbagai teknik pendinginan, tetapi studi ini secara khusus berfokus pada penggunaan pipa tembaga dan dampak pengaruh kinerja Panel Surya.

### Panel Surya

Panel Surya adalah sebuah sistem yang berfungsi mengonversi energi matahari menjadi listrik.. Proses dilakukan dengan mengubah energi yang terkandung dalam foton (cahaya) menjadi tegangan listrik melalui teknologi photovoltaik[8]. Sel surya memiliki muatan elektron positif dan negatif. Sel surya mampu menghasilkan arus listrik ketika mereka membentuk medan listrik yang dapat mengeluarkan arus listrik[9]. Tegangan keluaran Panel Surya berupa arus listrik DC[10]. Digunakan dalam kebutuhan harian maupun disimpan pada baterai. Sel surya dikumpulkan secara paralel dan seri untuk menghasilkan daya yang diperlukan melalui busbar kolektor jaringan[11]. Intensitas penyinaran matahari sangat mempengaruhi daya keluaran Panel Surya. Suhu yang meningkat dan perubahan cuaca dapat menurunkan kinerja Panel Surya. Kecepatan angin juga berperan penting, karena semakin tinggi kecepatan angin, semakin efektif proses pendinginan permukaan Panel Surya[12]. Panel Surya bekerja dengan mengandalkan sekumpulan sel surya yang diatur agar dapat menyerap sinar matahari secara optimal. Sel surya berperan dalam menangkap cahaya matahari. Setiap sel surya terdiri dari komponen photovoltaic, yaitu komponen yang mampu mengonversi cahaya (photo) menjadi listrik (voltaic)[13].

### Sistem Pendingin

Sistem pendingin adalah Proses mempertahankan suhu benda pada kondisi yang optimal dengan mengalirkan panas dari benda tersebut ke udara. Proses pendinginan terjadi ketika suhu suatu benda berbeda. Dari satu tempat ke tempat lain. Membawa panas dari bagian yang lebih panas ke bagian yang lebih dingin[14]. Beberapa sistem pendingin yang paling umum digunakan adalah pendingin dengan hembusan udara, pendingin dengan aliran air, pendingin dengan heatsink, dan sistem pendingin yang menggabungkan semua sistem ini[15]. Permukaan sel surya yang didinginkan dengan air memiliki suhu yang lebih rendah. Karena panas ditransfer dari sel ke air mengalir melalui pipa. Permukaan sel surya tanpa pendingin menyerap radiasi langsung menyebabkan suhu permukaannya meningkat[16]. Dengan adanya sistem pendingin menyebabkan suhu Panel Surya menurun dan daya keluaran Panel Surya bertambah. Penurunan suhu pada Panel Surya berpengaruh terhadap peningkatan tegangan open circuit Panel Surya, sehingga daya keluaran juga ikut bertambah[17].



Gambar 1. Pipa tembaga

### Efektivitas Panel Surya

Efektivitas Panel Surya ditandai dengan kemampuan Panel Surya dalam mengubah sinar matahari menjadi listrik. Perubahan Cuaca mempengaruhi keluaran daya pada Panel Surya. Disaat cuaca cerah daya yang diserap semakin banyak dari pada saat mendung maupun berawan[18]. Faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi efektivitas panel surya: intensitas radiasi matahari yang tinggi, kecepatan angin, dan kondisi iklim. Intensitas radiasi matahari yang tinggi memungkinkan panel surya menyerap lebih banyak energi, menghasilkan listrik lebih efisien.

Kecepatan angin juga dapat mendinginkan panel surya, mencegah pemanasan berlebihan yang dapat mengurangi kinerja panel. Iklim seperti suhu udara, kelembaban, dan curah hujan memengaruhi kinerja panel[19].

Rumus menghitung efektivitas Panel Surya:

$$n = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\%$$

n = Effisiensi Daya (dalam %)

P<sub>out</sub> = Daya Keluaran (Watt)

P<sub>in</sub> = Daya masukkan (Watt)

Dari rumus penghitungan diatas akan diperoleh Effiseensi Panel Surya. Dengan P out adalah nilai rata rata P<sub>MAX</sub>. Pin adalah nilai beban pada panel Surya.

### Studi Literatur

Pendingin panel surya menggunakan water coolant, air mineral dan air laut. Menggunakan Panel Surya monocrystalline 20WP sebagai medianya. Dengan metode Eksperimental yaitu membandingkan suhu dan tegangan. Dari hasil pengujian tersebut menghasilkan tingkat efektivitas terbesar diperoleh angka 15,41% dan 14,74 % . Keunggulan pada penelitian ini ialah pemanasan pada air mampu dimanfaatkan sebagai pendingin Panel surya, terbukti dengan menurunnya suhu permukaan Panel Surya. Kelemahannya ialah terdapat biaya tambahan yang digunakan untuk penggunaan watercoolant[20].

Pendinginan panel surya dengan pipa tembaga. Metode yang digunakan ialah Eksperimental. Dimulai dengan membuat rancang bangun prototipe dan menguji kinerja alat yang dibuat. Parameter yang diuji antara lain: Radiasi matahari, suhu dan tegangan Panel. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan temperatur sepanjang waktu. Diperoleh tegangan rata rata tertinggi dengan pendingin 17,2V. Lebih tinggi dibandingkan tanpa pendingin. Terhitung tegangan rata rata 15,6V tanpa pendingin. Keunggulan dari penelitian ialah pemanfaatan air panas yang dapat digunakan untuk kegiatan sehari hari dan dapat meningkatkan tegangan secara signifikan . Kelemahannya ialah perlu adanya desain yang sistematis sehingga aliran air dapat menjangkau seluruh sisi pipa tembaga[21].

### Pembaharuan

Alat ini dilengkapi dengan teknologi kran valve otomatis. Kran valve otomatis diletakkan pada bagian input dan output dari pipa tembaga. Tujuannya untuk memudahkan air masuk dan keluar secara otomatis. Sehingga pengguna tidak perlu bersusah payah untuk membuka kran secara manual. Kran valve pada bagian input akan bekerja apabila diberi tegangan. Pintu valve akan terbuka sehingga aliran air masuk ke dalam pipa tembaga. Berbanding terbalik dengan kran Valve pada bagian output. Valve bagian output bergantung pada Suhu yang di deteksi oleh sensor Maxx6675. Apabila suhu sudah mencapai batas yang ditentukan untuk mendinginkan Panel Surya, maka pintu Valve akan terbuka. Berbanding terbalik apabila suhu belum mencapai batas yang ditentukan, maka air akan kembali lagi ke dalam tanki penyimpanan air utama. Cukup banyak penelitian yang membahas penelitian ini, akan tetapi belum ada yang menambahkan teknologi kran valve otomatis.

## II. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Kuantitatif. Karena dengan metode Kuantitatif mampu memberikan hasil yang akurat dan mudah diukur, membantu membuktikan apakah sistem pendingin efektif dan memungkinkan diterapkan pada kondisi serupa di tempat lain.

Penelitian dilakukan di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Dimulai pada pukul 11.00 – 14.00 WIB dibawah paparan sinar matahari yang cukup. Pengukuran dilakukan 2 kali pada hari yang berbeda beda. Sehari untuk pengukuran PV tanpa pendingin dan sehari yang lain tanpa pendingin. Dengan jarak antar data 10 menit sekali. Parameter yang digunakan meliputi tegangan maksimal (P<sub>MAX</sub>), arus maksml (IMP), suhu permukaan atas dan bawah Panel Surya (°C), suhu air masuk dan keluar (°C), dan Daya maksimal (P<sub>MAX</sub>). Faktor lingkungan seperti : Perbedaan suhu, Panas matahari dan kelembapan lingkungan berpengaruh terhadap kinerja sistem pendingin. Penelitian dilakukan dengan perlakuan dan alat yang sama. Alat ukur meliputi : Avometer, Thermal maging Camera dan solar Panel Surya multimeter. Gambar 2

Data diperoleh dengan mengukur Tegangan, arus, Daya, serta suhu permukaan atas dan bawah Panel Surya. Suhu Panel Surya diukur menggunakan Thermal Imaging Camera, dengan menembakkan pada sisi permukaan atas dan bawah Panel Surya. Tegangan, arus dan daya diperoleh dengan menggunakan Solar Panel Multimeter. Dari semua hasil pengujian, diperoleh data yang berbeda antara dengan pendingin dan tanpa pendingin. Hasil pengujian dibuatkan diagram untuk mengetahui hasil yang signifikan jika menggunakan sistem pendingin.

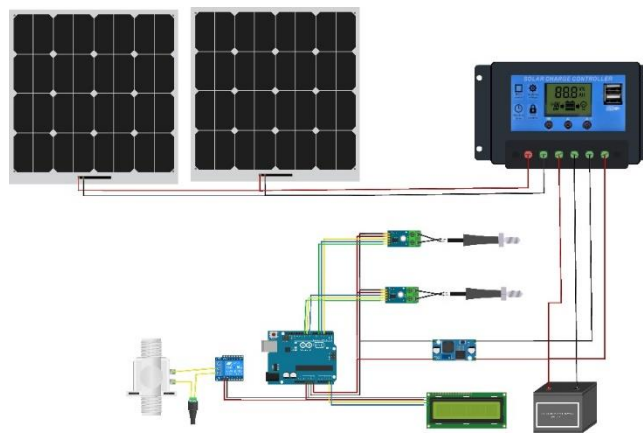


Gambar 2. Pengambilan data dengan Smart Sensor



Gambar 3. Desain pipa tembaga pada Panel Surya

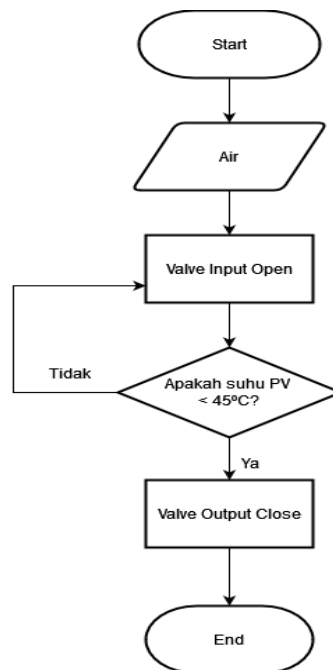
Pada gambar 3 terdiri dari 2 bagian penting, yaitu rangkaian controller dan rangkaian utama Panel Surya. Rangkaian utama Panel Surya terdiri dari Panel Surya 100 Wp, SCC dan baterai 12V 50ah. Pada bagian rangkaian controller terdiri dari mikrokontroler arduino, Sensor max6675, stepdown 5V, selenoid valve dan LCD I2C. Stepdown disambungkan pada mikrokontroler sebagai penurun tegangan dari baterai ke mikrokontroler, Sensor max6675 terpasang pada pin arduino sebagai indikator suhu air yang masuk dan keluar. Hasil suhu yang terdeteksi pada sensor max6675 akan ditampilkan pada layar LCD I2C. Selenoid valve terpasang pada bagian input dan output pipa. [Gambar 4](#)



Gambar 4. Rancangan Sistem Pendingin Pipa Tembaga

### Diagram flowchart

Alur proses penelitian seperti Gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram Flowchart

Proses dimulai dari air mengalir ke dalam valve input open. Apabila telah diberikan tegangan, selenoid valve akan terbuka dan air dapat masuk ke dalam pipa tembaga. Apabila suhu telah mencapai 45°C maka valve output terbuka. Jika tidak, air akan kembali ke tanki awal dan valve output tetap tertutup.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengukuran

Data pengukuran diperoleh dengan melihat nilai VMP, IMP, PMAX, suhu atas dan bawah Panel Surya, Suhu air bagian Input dan Output. Dengan memanfaatkan air yang mengalir pada pipa tembaga, diperoleh hasil yang berbeda. Karena posisi matahari yang terus bergeser seiring berjalannya waktu.

*Tabel 1. Pengukuran Panel Surya Termal*

Pukul	VMP	Imp	Pmax	Suhu Panel Surya		Suhu Air	
				T Atas	T Bawah	Tin	Tout
10:00	16,45	5,75	94,59	45,2	45,7	30,5	32,0
10:10	15,57	5,75	89,53	46,1	47,0	30,3	31,2
10:20	16,64	5,78	96,18	47,0	47,7	29,8	33,0
10:30	15,19	5,78	87,80	48,4	48,0	30,0	33,2
10:40	15,23	5,78	88,03	48,6	48,2	30,0	34,0
10:50	15,05	5,78	86,99	48,6	48,4	32,5	33,5
11:00	15,30	5,78	88,43	47,8	48,0	31,0	33,2
11:10	15,38	5,75	88,44	48,3	48,0	30,3	33,2
11:20	15,05	5,78	86,99	46,2	45,7	30,5	33,8
11:30	16,36	5,78	94,56	45,9	46,0	30,2	32,5
11:40	15,34	5,78	88,67	44,3	44,4	30,8	33,2
11:50	15,82	5,78	91,44	48,3	49,1	31,5	33,8
12:00	16,15	5,31	85,76	50,4	51,4	31,5	33,8

12:10	15,16	5,85	88,69	49,0	50,1	30,0	34,8
12:20	15,38	5,75	88,44	49,5	50,5	31,3	35,0
12:30	15,64	5,75	89,93	48,2	49,7	31,8	34,0
12:40	16,19	5,78	93,58	45,6	48,0	32,5	35,0
12:50	15,49	5,78	89,53	46,1	47,6	32,3	34,8
13:00	16,26	5,78	93,98	48,3	48,6	32,5	33,2
13:10	16,30	5,75	93,73	43,6	45,5	32,8	33,8
13:20	15,67	5,36	83,99	44,3	46,7	32,5	33,2
13:30	15,05	5,45	82,02	45	47,5	31,8	34,8
13:40	14,87	5,60	83,27	44,3	47,6	32,5	32,8
13:50	14,64	4,65	68,08	43,2	46,2	32,3	33,0
14:00	14,78	4,53	66,95	42,9	46,1	32,0	33,2

Tabel 1. diatas adalah tabel hasil pengukuran yang dilakukan dalam 1 kali pengujian. Daya masimum (P<sub>MAX</sub>) tertinggi diperoleh 96,18W pada pukul 10:20 WIB dengan suhu panel relatif rendah mencapai 47°C. Daya terendah diperoleh 66,95W pada pukul 14.00 WIB. Suhu Panel tertinggi mencapai 50,4C pada pukul 12.00 WIB, dengan tegangan mencapai 16,15V. Tegangan turun dari nilai awal 16,45V pada suhu 45,2C menjadi 16,15V pada suhu 45,2C . Hal ini menunjukkan semakin tinggi suhu Panel Surya semakin kecil tegangan yang diperoleh.

*Tabel 2. Pengukuran Panel Surya tanpa termal*

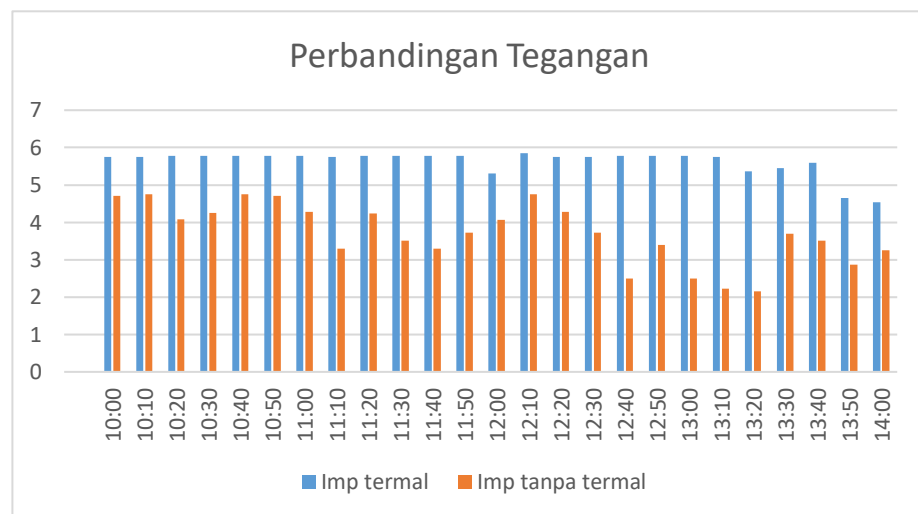
Pukul	V <sub>mp</sub>	I <sub>mp</sub>	P <sub>max</sub>	Suhu Panel Surya	
				T Atas	T Bawah
10:00	13,12	4,71	61,80	50,6	54,2
10:10	13,05	4,75	61,99	51,8	55,0
10:20	13,20	4,08	53,86	54,1	59,8
10:30	12,50	4,25	53,13	51,1	58,3
10:40	12,68	4,75	60,23	53,2	56,0
10:50	12,94	4,71	60,95	56,1	57,5
11:00	12,90	4,28	55,21	52,5	59,0
11:10	12,90	3,30	42,57	52,3	56,4
11:20	12,98	4,24	55,04	55,3	55,2
11:30	13,49	3,51	47,35	53,7	57,9
11:40	13,46	3,30	44,42	54,9	56,3
11:50	13,42	3,73	50,06	54,8	55,8
12:00	13,56	4,06	55,05	55,2	59,0
12:10	12,64	4,75	60,04	55,2	58,2
12:20	12,46	4,28	53,33	57,2	57,1
12:30	13,34	3,73	49,76	56,2	58,2
12:40	13,42	2,49	33,42	56,8	59,7
12:50	13,42	3,39	45,49	55,9	57,8
13:00	12,38	2,5	30,95	57,4	57,4
13:10	12,83	2,23	28,61	58,9	57,9
13:20	13,09	2,16	28,27	58,7	56,6
13:30	12,64	3,69	46,64	58,1	58,8
13:40	13,31	3,51	46,72	57,7	56,9
13:50	13,01	2,87	37,34	53,7	57,9

14:00	12,60	3,26	41,08	52,5	52,8
-------	-------	------	-------	------	------

Tabel 2. menunjukkan data dalam 1 kali pengujian. Diperoleh Suhu tertinggi Panel Surya mencapai 58,9C pada pukul 13.10 WIB dengan nilai VMP sebesar 12,83V dan PMAX sebesar 28,61W. hal ini berbanding terbalik di saat Suhu Panel Surya mencapai 50,6C pada pukul 10.00 WIB dengan nilai VMP 13.12 dan PMAX mencapai 61,80. Semakin meningkat suhu yang diterima Panel Surya maka semakin kecil juga tegangan yang diperoleh,

### Perbandingan Tegangan

Berdasarkan pemaparan Tabel 1. VMP termal terbesar terjadi pada pukul 10.20 WIB sebesar 16,64 V. Sedangkan Tegangan maksimal VMP pada Panel Surya tanpa termal mencapai 13,56 V pada pukul 12.00 WIB. Nilai tegangan termal cenderung lebih besar dari pada tanpa termal. Dikarenakan Panel Surya mendapatkan pengaruh pendinginan dari Pipa termal. Sehingga tegangan yang dikeluarkan juga besar.

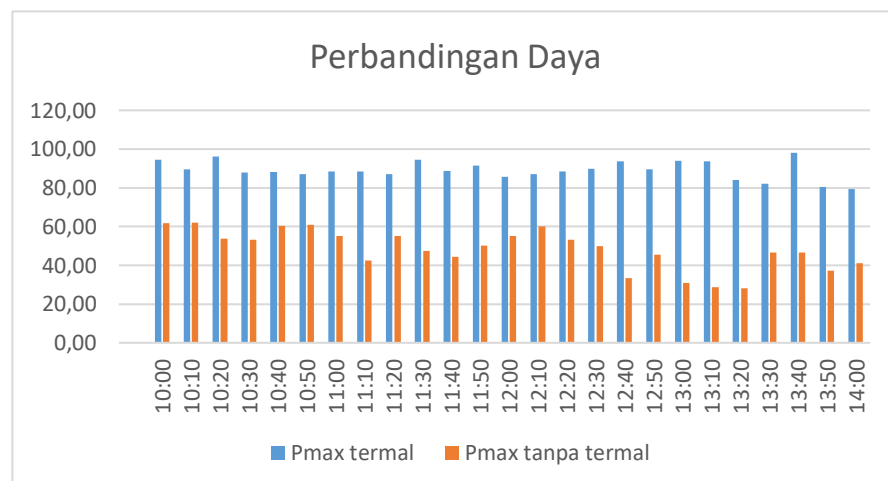


Gambar 6. Perbandingan VMP termal dan tanpa termal

Detail perbandingan bisa dilihat pada gambar 6.

### Perbandingan Daya

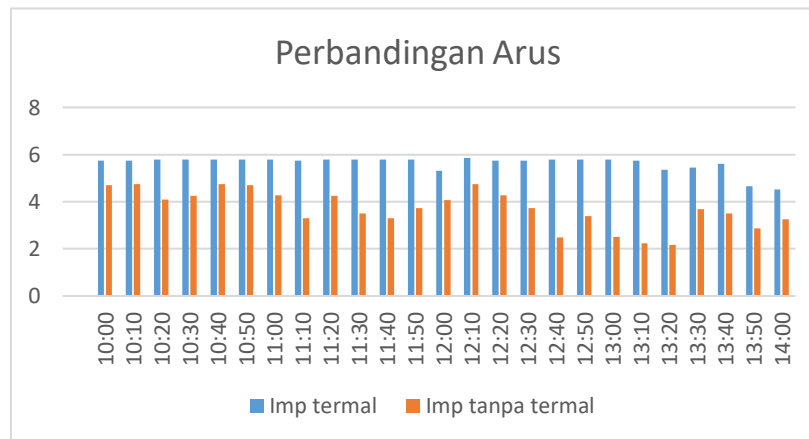
Berdasarkan pemaparan Tabel 1., Pmax pada PV termal terbesar yaitu 96,18 W pada pukul 10.20 siang . Adapun untuk pengukuran Panel Surya tanpa termal diperoleh PMAX terbesar 61,99 W tepat pada pukul 10.10. Perbandingan yang cukup signifikan terlihat pada gambar grafik 7. Nilai PMAX termal cenderung lebih besar daripada PMAX tanpa termal. Dikarenakan Panel Surya tanpa termal mengalami peningkatan suhu. Daya di peroleh dengan mengalikan antara PMAX dan IMP. Berdasarkan rumus  $P = V \times I$



Gambar 7. Perbandingan PMAX termal dan tanpa termal

### Perbandingan Arus

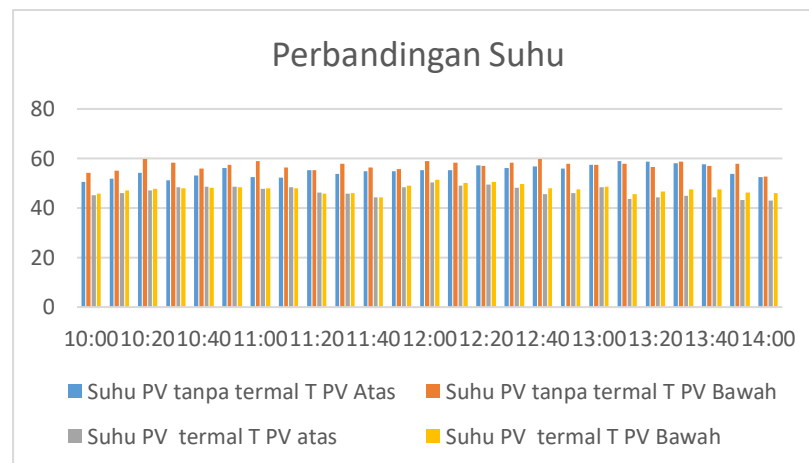
Berdasarkan pemaparan tabel 1, Imp pada PV termal terbesar yaitu 5,85 W pada pukul 12.10 siang terlihat pada Tabel 1. Pada Tegangan maksimal (IMP) yang diperoleh pada PV tanpa termal terbesar 4,75 A terjadi pada pukul 10.10 dan 12.10 WIB



Gambar 8. Perbandingan IMP termal dan tanpa termal

### Perbandingan Suhu

Berdasarkan pemaparan Tabel 1. tentang Panel Surya termal dan Tabel 2. tanpa termal. Adanya perbedaan yang cukup signifikan. Terlihat jelas pada Gambar 8 tentang perbandingan suhu atas dan bawah Panel Surya termal dan tanpa termal. Suhu Panel Surya termal cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan tanpa termal. Kisaran antara 42 – 50 C. Pada PV tanpa termal dia mencapai titik 50 – 59 C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem termal membantu mengontrol suhu pada Panel Surya.



Gambar 9. Perbandingan Suhu termal dan tanpa termal

## IV. SIMPULAN

### Simpulan

Dengan menggunakan sistem pendingin termal tegangan maksimum (VMP) dan daya maksimum (P<sub>MAX</sub>) cenderung lebih stabil. Suhu yang diterima cenderung lebih rendah. VMP dengan pendingin tertinggi di dapatkan pada pukul 10.20 WIB sebesar 96,18W dengan suhu mencapai 47C. Berbeda dengan Panel Surya tanpa pendingin, Suhu Panel surya lebih tinggi mengakibatkan VMP dan P<sub>MAX</sub> mengalami penurunan. Panel Surya tanpa pendingin mencapai 12,83 V dan daya maksimum (P<sub>MAX</sub>) mencapai 28,61 W dengan suhu mencapai 58,9C pada pukul 13.10 WIB.

Nilai tegangan maksimum (VMP) dan daya maksimum (P<sub>MAX</sub>) bergantung pada kondisi cuaca saat pengujian.



Semakin rendah suhu yang diterima Panel Surya, semakin besar pula tegangan maksimum (VMP) dan daya maksimum (P<sub>MAX</sub>) yang dihasilkan. Dengan suhu yang rendah meningkatkan efisiensi Panel Surya. Panel Surya dengan sistem pendingin memiliki efisiensi 43,7% dan tanpa pendingin memiliki efisiensi 24,07%.

## REFERENSI

- [1] J. Jamaaluddin, I. Anshory, E. Rosnawati, and D. K. Aji, "Analisa Perbandingan PWM Dan MPPT Untuk Beban Di Atas 200 W," *SinarFe7*, pp. 123–129, 2020.
- [2] P. Boedi, "KOCENIN Serial Konferensi No. 1 (2020) Webinar Nasional Cendekiawan Ke 6 Tahun 2020, Indonesia," *KOCENIN Ser. Konf.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [3] U. Penghematan, B. I. Tagihan, L. Pln, and U. A. Dahlan, "(1) , 2 , 3) , 4)," vol. 2, pp. 236–240, 2024.
- [4] P. Harahap, "Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020, doi: 10.30596/rele.v2i2.4420.
- [5] G. R. Cahyono, P. R. Ansyah, and M. Munthaha, "Pengaruh Variasi Kecepatan Hembusan Udara Terhadap Temperatur, Daya Output dan Efisiensi Pada Pendinginan Panel Surya," *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 141–146, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.259.
- [6] S. Emani, S. K. Vandurangi, G. Velidi, M. H. Ahmadi, Y. Cárdenas Escorcía, and A. Jafet Nieto Piscioti, "Effects of wavy structure, ambient conditions and solar intensities on flow and temperature distributions in a mini solar flat plate collector using computational fluid dynamics," *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.*, vol. 17, no. 1, 2023, doi: 10.1080/19942060.2023.2236179.
- [7] I. N. Unar *et al.*, "Performance evaluation of solar flat plate collector using different working fluids through computational fluid dynamics," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2005-z.
- [8] I. Sulistiyowati, Jamaaludin, and I. Anshory, "Characteristics of Direct-Coupling Fuel Cell Injection in Renewable Energy Hybrid Power Generation Electrical Systems: Karakteristik Injeksi Fuel Cell Secara Direct-Coupling Pada Sistem Kelistrikan Pembangkit Hibrida Energi Terbarukan," *Procedia Soc. Sci. Humanit.*, vol. 3, no. c, pp. 748–756, 2022.
- [9] A. Ahfas, D. R. Hadidjaja, S. Syahririni, B. Studi Teknik Elektro, and F. Saintek, "Id Card Sebagai Charger Hp Berbasis Energi Terbarukan," *Procedia Soc. Sci. Humanit.*, vol. 0672, no. c, pp. 1467–1471, 2022.
- [10] J. Jamaaluddin, I. Anshory, S. B. Sartika, Khoiri, and Mardiyono, "Utilizing Solar Power for Communication and Illumination in Disaster Zones," *Acad. Open*, vol. 8, no. 2, pp. 1–15, 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.7236.
- [11] I. Anshory *et al.*, "Optimization DC-DC boost converter of BLDC motor drive by solar

- panel using PID and firefly algorithm," *Results Eng.*, vol. 21, no. December 2023, p. 101727, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101727.
- [12] Z. Arizal, A. Y. Dewi, A. Effendi, and R. Andari, "Analysis of a 735 kWp On-Grid Solar Power Plant System on the Rooftop of the Main Office of PT . Pertamina Hulu Rokan," vol. 1, no. 3, pp. 93–105, 2025.
- [13] S. H. Kiki, U. Prayogi, and B. Y. Dewantara, "Perancangan Tata Letak Mesin Pendingin dan Instalasi Panel Surya sebagai Supply Daya Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan KM. Jaya Putra," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 7, no. 1, pp. 255–260, 2022, doi: 10.36277/jteuniba.v7i1.163.
- [14] A. Pawawoi and Z. Zulfahmi, "Penambahan Sistem Pendingin Heatsink Untuk Optimasi Penggunaan Reflektor Pada Panel Surya," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.25077/jnte.v8n1.607.2019.
- [15] M. S. Loegimin, B. Sumantri, M. A. B. Nugroho, H. Hasnira, and N. A. Windarko, "Sistem Pendinginan Air Untuk Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic," *J. Integr.*, vol. 12, no. 1, pp. 21–30, 2020, doi: 10.30871/ji.v12i1.1698.
- [16] R. Subarkah and B. Belyamin, "Pemanas Air Energi Surya Dengan Sel Surya Sebagai Absorber," *Poli-Teknologi*, vol. 10, no. 3, pp. 225–231, 2021.
- [17] M. Rezki, R. Rusilawati, and I. Irfan, "Optimalisasi Daya Panel Surya Menggunakan Sistem Pendingin Berbasis Air Otomatis," *J. EEICT (Electric Electron. Instrum. Control Telecommun.)*, vol. 6, no. 2, 2023, doi: 10.31602/eeict.v6i2.12921.
- [18] U. M. Area, "SKRIPSI OLEH : DEWI RAMADHANI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Fakultas Teknik Universitas Medan Area Oleh :," 2023.
- [19] R. Z. Fadillah *et al.*, "Perbandingan Penggunaan Panel Surya dan Turbin Angin dalam Implementasi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Lingkungan Universitas Pertamina," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 22, no. 1, pp. 029–037, 2021, doi: 10.29122/jtl.v22i1.3247.
- [20] D. Almanda and B. P. Piliang, "Perbandingan Sistem Pendingin pada Konsentrasi Water Coolant, Air Mineral, dan Air Laut Menggunakan Panel Surya Fleksibel Monocrystalline 20 Wp," *Resist. (elektRONika kEndali Telekomun. tenaga List. kOMputeR)*, vol. 2, no. 2, p. 73, 2019, doi: 10.24853/resistor.2.2.73-82.
- [21] I. Martati and D. Kusrihandayani, "Kaji Experimental Photovoltaic Thermal (PV/T) Pendingin Panel Surya," *Pros. 4th Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy. 2020*, pp. 124–129, 2020.