JURNAL LITEK : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika
Vol. 23, No. 1, Maret 2026, pp. 48 – 57.
pISSN: 1693-8097; eISSN: 2549-8762.
Akreditasi Sinta 6, SK : 177/E/KPT/2024. DOI : https://doi.org/10.30811/litek.v23i1.95.

RANCANG BANGUN SISTEM PENDINGIN OTOMATIS BERBASIS SENSOR SUHU UNTUK OPTIMALISASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 50 WP

Fauzan[1], Radhiah[2], Rizqi Cahyono[3], Maimun[4], Muhammad Syahroni[5], Zulfikar[6], T. Hasannuddin[7]

[1,2,3)]Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: fauzan@pnl.ac.id[1], radhiah@pnl.ac.id[2], risqicahyono1@gmail.com[3], maimun.s210@gmail.com[4], msyahroni@pnl.ac.id[5], zul_elka@pnl.ac.id[6], hasanudin10955@gmail.com[7]

Corresponding Author : Fauzan

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: fauzan@pnl.ac.id

Abstrak – Penelitian ini berfokus pada Energi surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dengan emisi karbon rendah. Namun kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh suhu operasional. Pada kondisi optimal sekitar 25°C, panel surya mampu menghasilkan efisiensi tertinggi, sedangkan pada suhu lebih tinggi seperti 35°C terjadi penurunan kinerja akibat peningkatan pergerakan elektron dalam material fotovoltaik yang menyebabkan penurunan tegangan dan daya keluaran. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini merancang sistem pendingin otomatis berbasis *thermostat* digital XH-W3001 yang dikombinasikan dengan sensor NTC *Thermistor* 3950 10K dan pompa air DC 12V. Sistem ini bekerja secara otomatis dengan mendeteksi suhu panel secara *real-time,* mengaktifkan pendinginan saat suhu melebihi 35°C, serta menjaga kestabilan di bawah 25°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu 35°C, panel menghasilkan tegangan rata-rata 14,40 V, arus 1,50 A, daya 20,95 W, dan efisiensi 10,27%, sedangkan pada suhu 25°C diperoleh tegangan rata-rata 14,52 V, arus 1,66 A, daya 23,82 W, efisiensi 11,25%, dan optimalisasi rata-rata sebesar 11,78%. Penerapan sistem pendingin otomatis terbukti efektif dalam menjaga suhu panel tetap stabil, meningkatkan efisiensi konversi energi, mempertahankan daya keluaran, serta memperpanjang umur operasional panel dengan meminimalkan risiko kerusakan akibat paparan suhu tinggi.

Kata Kunci: Energi surya, Suhu operasional, Sistem pendingin otomatis, Efisiensi panel surya, Optimalisasi energi.

Abstract *– This research focuses on solar energy as one of the environmentally friendly renewable energy sources with low carbon emissions. However, the performance of solar panels is greatly influenced by operational temperature. At optimal conditions around 25°C, solar panels are able to produce the highest efficiency, while at higher temperatures such as 35°C, performance decreases due to increased electron movement in photovoltaic materials which causes a decrease in voltage and output power. To overcome this problem, this study designed an automatic cooling system based on the XH-W3001 digital thermostat combined with a 3950 10K NTC Thermistor sensor and a 12V DC water pump. This system works automatically by detecting the panel temperature in real-time, activating cooling when the temperature exceeds 35°C, and maintaining stability below 25°C. The test results show that at a temperature of 35°C, the panel produces an average voltage of 14.40 V, a current of 1.50 A, a power of 20.95 W, and an efficiency of 10.27%, while at a temperature of 25°C, an average voltage of 14.52 V, a current of 1.66 A, a power of 23.82 W, an efficiency of 11.25%, and an average optimization of 11.78%. The application of an automatic cooling system has proven effective in maintaining a stable panel temperature, increasing energy conversion efficiency, maintaining output power, and extending the operational life of the panel by minimizing the risk of damage due to exposure to high temperatures.*

Keywords: Solar energy, Operating temperature, Automatic cooling system, Solar panel efficiency, Energy optimization*.*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan energi alternatif di berbagai belahan dunia terus menunjukkan kemajuan yang signifikan, salah satunya melalui pemanfaatan energi surya. Energi surya termasuk sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, sehingga menarik perhatian pemerintah maupun masyarakat untuk menerapkan teknologi ini.

Sistem pembangkit listrik tenaga surya dapat diaplikasikan di berbagai wilayah karena mampu menghasilkan energi listrik tanpa memerlukan perawatan yang kompleks serta tidak menimbulkan kebisingan.

Diserahkan : 26 September 2025 | Diperbaiki : 18 Februari 2026 | Diterima : 19 Februari 2026 | Dipublikasi : 1 Maret 2026.

Selain itu, energi surya memiliki tingkat emisi karbon yang sangat rendah, tidak bergantung pada bahan bakar fosil, dan pengembangannya terus mengalami peningkatan secara pesat di berbagai negara [1].

Panel surya merupakan salah satu teknologi utama dalam pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Teknologi ini berfungsi mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung melalui mekanisme fotovoltaik. Meskipun memiliki potensi yang besar dalam menghasilkan energi, kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu operasional. Pada saat panel surya menerima intensitas radiasi matahari yang tinggi, suhu permukaan modul dapat meningkat secara signifikan, sehingga berdampak negatif terhadap efisiensi proses konversi energi.

Suhu operasional panel surya merupakan faktor utama yang memengaruhi efisiensi konversi energi. Pada suhu sekitar 25°C, panel surya mampu beroperasi secara optimal dengan tingkat efisiensi tertinggi. Ketika suhu meningkat, pergerakan elektron dalam material fotovoltaik menjadi lebih acak sehingga mengurangi kemampuan panel dalam mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada suhu sekitar 35°C, efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mengalami penurunan signifikan, sehingga pengendalian suhu yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja panel surya dan meminimalkan kehilangan energi.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu mempertahankan suhu panel surya pada kondisi optimal. Penelitian ini merancang sistem pendingin otomatis berbasis *thermostat* digital XH-W3001 yang berfungsi mendeteksi perubahan suhu panel surya secara *real-time*. Sistem pendingin ini memanfaatkan pompa air DC untuk menurunkan suhu permukaan panel surya sehingga kinerja panel dapat tetap stabil, potensi kerusakan dapat diminimalisasi, serta efisiensi konversi energi yang dihasilkan dapat ditingkatkan. Penelitian terkait PLTS ini sudah banyak dilakukan oleh peneliti lainnya, namun untuk metode pendinginan solar panel untuk meningkatkan efesiensi dan optimalisasi belum pernah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

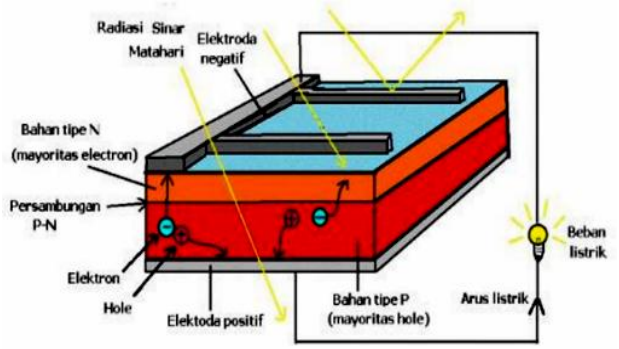
Penurunan ketersediaan energi konvensional, disertai meningkatnya kebutuhan energi akibat pertumbuhan jumlah penduduk dan mobilitas tinggi, menyebabkan ketidakseimbangan antara permintaan dan pasokan energi. Kondisi ini berpotensi menimbulkan krisis energi di masa depan. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan sangat penting, salah satunya energi surya yang dapat dikonversi menjadi listrik melalui teknologi fotovoltaik [2].

Panel surya bekerja optimal pada suhu sekitar 25°C, sedangkan suhu rata-rata di Indonesia mencapai 30–35°C, melebihi batas ideal. Untuk menjaga kinerjanya, diperlukan sistem pendinginan yang efektif, seperti pendinginan tertutup berbasis air, pemantauan suhu media pendingin, dan pemanfaatan panas residual, karena suhu tinggi permukaan panel dapat menurunkan efisiensi akibat efek termal negatif [3].

Untuk menjaga kinerja panel surya pada tingkat optimal, diperlukan sistem pendingin otomatis yang memanfaatkan aliran air melalui pompa ke permukaan panel. Mekanisme ini berfungsi mereduksi panas berlebih, mempertahankan suhu operasional dalam batas ideal, dan mencegah penurunan efisiensi akibat efek termal negatif. Stabilitas suhu yang terjaga berkontribusi pada peningkatan efisiensi konversi energi, menjaga performa sistem secara menyeluruh, serta meningkatkan daya listrik yang dihasilkan panel surya [4].

A. Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya merupakan perangkat pembangkit listrik yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik. Sel ini umumnya terdiri dari dua lapisan semikonduktor, yaitu tipe-P dan tipe-N, yang membentuk sambungan p-n. Saat permukaan sel surya terkena cahaya matahari, foton diserap oleh material semikonduktor, terutama pada lapisan tipe-N, sehingga terjadi eksitasi elektron dan pelepasan muatan negatif. Elektron yang terbebas kemudian bergerak menuju lapisan tipe-P, menghasilkan perbedaan potensial listrik antara kedua lapisan. Perbedaan tegangan ini menimbulkan arus listrik searah (DC) yang dapat disimpan atau digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik [5]. Prinsip kerja sel surya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr. 1 Prinsip Kerja Sel Surya [6]

Luas permukaan panel surya merupakan faktor penting dalam menentukan jumlah energi yang diserap dari cahaya matahari serta efektivitas sistem pendingin untuk menjaga kinerja optimal. Besarnya luas permukaan memengaruhi konversi energi cahaya menjadi listrik sekaligus menentukan area yang harus didinginkan agar efisiensi panel tetap maksimal. Luas permukaan panel surya dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 [7].

$$A = P \times L \quad (1)$$

Keterangan:
A = Luas permukaan panel surya (meter persegi)
P = Panjang panel surya (meter)
L = Lebar panel surya (meter)

Dalam penerapan sel surya atau sistem pembangkit listrik tenaga surya, daya yang dihasilkan dapat ditentukan dengan persamaan dasar yang menghubungkan arus listrik (I) dan tegangan (V) keluaran sel. Daya keluaran panel surya dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 [8].

$$P = V \times I = \quad (2)$$

Keterangan:
P = Daya (W),
I = Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya (A)
V = Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya (V)

Dalam optimalisasi panel surya, persentase peningkatan efisiensi atau energi yang dihasilkan setelah dilakukan optimalisasi dibandingkan dengan energi awal dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 [9].

$$\text{Optimalisasi } \% = \frac{\text{Daya Akhir - Daya Awal}}{\text{Daya Akhir}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:
Optimalisasi = Proses memaksimalkan kinerja sistem (%)
Daya Akhir = Jumlah daya setelah dilakukan pendinginan (W)
Daya Awal = Jumlah daya sebelum dilakukan pendinginan (W)

Untuk menilai kinerja panel surya dalam mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik, dilakukan perhitungan efisiensi. Efisiensi ini diperoleh dengan membandingkan daya listrik keluaran panel dengan daya radiasi matahari yang diterima oleh permukaannya. Efisiensi dapat dihitung dengan Persamaan 4 [10].

$$\text{Efesiensi} = \frac{\text{Poutput}}{E \times A} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

Efisiensi (%) = Persentase konversi energi matahari menjadi listrik (%)
Poutput = Daya listrik dihasilkan oleh panel surya (W)
E = Intensitas radiasi matahari (W/m²)
A = Luas permukaan panel surya (m²)

B. Sistem Pendingin Panel Surya

Pendinginan pada panel surya penting untuk menjaga suhu tetap berada pada batas yang optimal, karena peningkatan suhu dapat menurunkan efisiensi konversi energi. Sistem pendingin berbasis air bekerja dengan mengalirkan air di permukaan panel untuk menyerap panas, sehingga panas berlebih dapat dikurangi. Mekanisme ini dapat meningkatkan efisiensi, memperbesar daya keluaran, dan memperpanjang umur panel [7].

C. Sensor NTC Thermistor 3950 10K

NTC (*Negative Temperature Coefficient*) *Thermistor* adalah *resistor* yang memiliki resistansi menurun secara eksponensial seiring peningkatan suhu. NTC terbuat dari keramik semikonduktor berbasis metal oksida, sensor ini memiliki ukuran kecil, sensitivitas tinggi, resistansi besar, dan biaya relatif terjangkau. Perubahan resistansi tersebut diproses melalui rangkaian elektronik untuk menentukan nilai temperatur [8]. Bentuk sensor *waterproof* NTC 3950 10K ditunjukkan pada Gambar 2.



Spesifikasi NTC Thermistor 3950 10k	
Temperature Range	-20 – 105 celcius
Cable Length	1 meter
Probe Dimension	5*25mm
Output	2 Cables
Type	NTC 10k±1% 3950
B-constant	3380K±1%
Typical Dissipation Constant	5mW/celcius
Insulation Probe	> 100MOhm
Peak Voltage Sustain Time	2 sec, AC1800V 1mA
Stress Sustain	1 min, 9.8N
Other	Waterproof

Gbr. 2 Sensor Suhu *Waterproof NTC Thermistor 3950 10k* [9]

D. Thermostat Digital XH-W3001

XH-W3001 adalah *thermostat* digital yang dilengkapi sensor suhu eksternal untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time.* Perangkat ini mampu mengatur suhu secara otomatis melalui kontrol on/off, yaitu mengaktifkan beban seperti pompa ketika suhu melebihi batas atas dan mematikannya saat suhu turun hingga batas bawah. XH-W3001 banyak digunakan pada inkubator, sistem pendingin, dan aplikasi lain yang memerlukan kestabilan suhu. Bentuk *thermostat* digital XH-W3001 ditampilkan pada Gambar 3.



Housing Meterial	Plastic (IP22)
Temperature Range	-50 ... 110 °C
Working Mode	Heating and Cooling
Temperature Accuracy	0.2 °C
Measuring Accuracy	0.1 °C
Input Measurement	NTC 10K, 1 meter waterproof probe
Input Power Suply	12V DC / 24V DC / 230V AC
Output Power	120W, Direct 2 point On/Off output
Output Current	Max. 10A
Size	60X46X31mm
Mounting	DIN-Rail / Wall Surface

Gbr. 3 *Thermostat* Digital XH-W3001 [10]

III. METODOLOGI

A. Fungsional dan Struktur Alat/Sistem

1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk rancang bangun sistem pendingin otomatis berbasis sensor suhu dengan penyemprotan air pada PLTS, seperti diperlihatkan pada Tabel 1 dan 2.

TABEL I
Alat

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Jumlah
1.	Multimeter	Digital	1
2.	*Clamp* meter	Digital	1
3.	lux meter	AS803	1
4.	*thermometer*	GM320	1
5.	Tang kombinasi	-	1
6.	Tang Potong	-	1
7.	Obeng (+) dan (-)	-	1
8.	Solder dan timah	-	1
9.	Bor listrik	-	1
10.	Gerinda	-	1
11.	Mesin Las	-	1

TABEL II
Bahan

No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah
1.	Solar panel 50 wp	*Monocrystalline* 50wp	1
2.	SCC	PWM	1
3.	Watt Meter	DC	1
4.	Baterai	12 Volt/7Ah	1
5.	Sensor NTC	*Thermistor* 3950 10k	1
6.	*Thermostat*	Digital XH-W3001	1
7.	Pompa	DC 12 Volt	1
8.	Kabel	NYAF 2,5mm	secukupnya
9.	Terminal Blok	-	1
10.	Nozzle	-	3
11.	Besi Siku	-	secukupnya
12.	Selang	-	secukupnya
13.	*Container Box*	-	2
14.	*Box* panel	-	1
15.	Baut	-	secukupnya
16.	Kabel duct	Tc2	1m

B. Spesifikasi Panel Surya

Panel surya yang dipilih dalam penelitian ini memiliki spesifikasi tertentu yang mendukung kinerja sistem secara keseluruhan. Adapun panel surya yang digunakan terdapat pada Tabel 3 sebagai berikut.

TABEL III
Spesifikasi Panel Surya

Module Type	INS com KMM-27950
Rated Max Power (Pmax)	50 W
Voltage at Pmax (Vmp)	19.12 V
Current at Pmax (Imp)	2.45 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	22.68 V
Short-Circuit Current (Isc)	2.62 A
Max System Voltage	715 VDC

C. Spesifikasi Thermistor NTC 3950 10K

Thermistor NTC 3950 10k yang digunakan untuk mendeteksi suhu permukaan panel surya memiliki spesifikasi yang terdapat pada Tabel 4 berikut.

TABEL IV
Spesifikasi *Thermistor NTC 3950 10K*

Tipe	NTC 10k±1%3950
Rentang Suhu	-20 to 105 ° C
Panjang Kabel	1 M
Resistansi	10K ohm

D. Spesifikasi Termostat XH-W3001

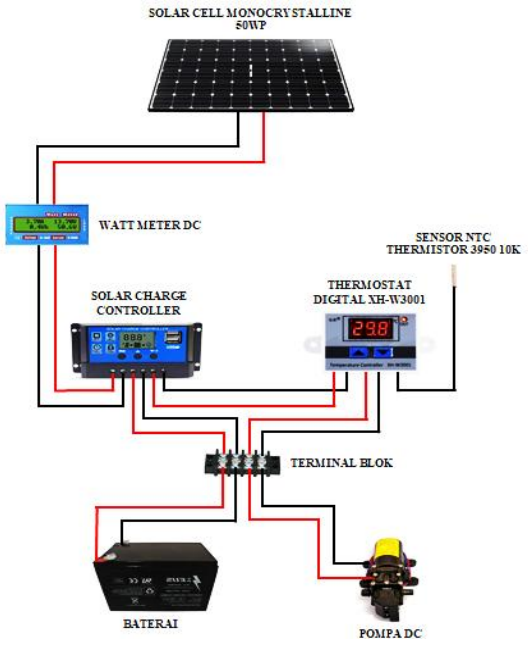
Termostat XH-W3001 yang digunakan untuk mengatur suhu permukaan panel surya memiliki spesifikasi yang terdapat pada Tabel 5 sebagai berikut.

TABEL V
Spesifikasi *Termostat XH-W3001*

Tipe *Termostat*	XH-W300
Tegangan	12 V DC
Arus Maksimal	10 A
Daya Maksimum	120 W
Suhu Kerja	50 - 110°C

E. Diagram Rangkaian Sistem Pendingin PLTS

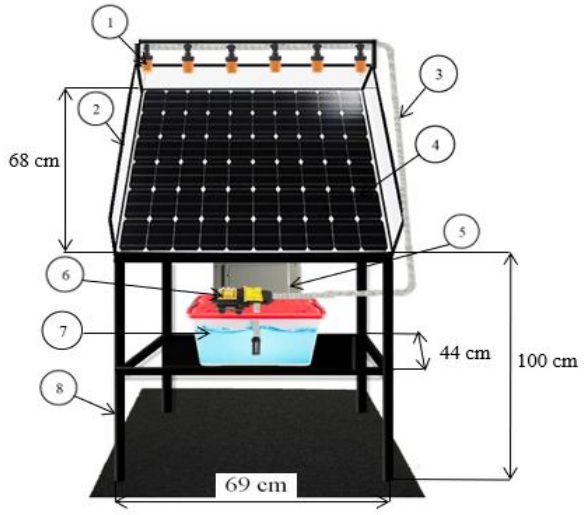
Power supply terhubung ke *thermostat* XH-W3001 yang menggunakan sensor NTC 3950 10K untuk membaca suhu panel surya. *Thermostat* diatur pada suhu maksimum 35°C dan minimum 25°C; pompa air otomatis menyemprotkan air saat suhu melebihi 35°C dan berhenti ketika suhu di bawah 25°C. *Wiring diagram* sistem pendingin ditunjukkan pada Gambar 4.



Gbr. 4 *Wiring Diagram* Sistem Pendingin PLTS

F. Desain Alat Sistem Pendingin PLTS

Desain Alat Sistem Pendingin PLTS dengan Metode Penyemprotan Air dapat dilihat pada Gambar 5.



Gbr. 5 Desain Alat Sistem Pendingin PLTS dengan Metode Penyemprotan Air

Gambar 5 menunjukkan sistem PLTS dengan pendingin otomatis berbasis penyemprotan air, di mana tiap bagian diberi nomor untuk memudahkan identifikasi. Sistem ini menjaga suhu panel agar efisiensi tetap optimal. Rincian komponen terdapat pada Tabel 6.

TABEL VI
Komponen Sistem PLTS dengan Pendingin Otomatis Berbasis Penyemprotan Air

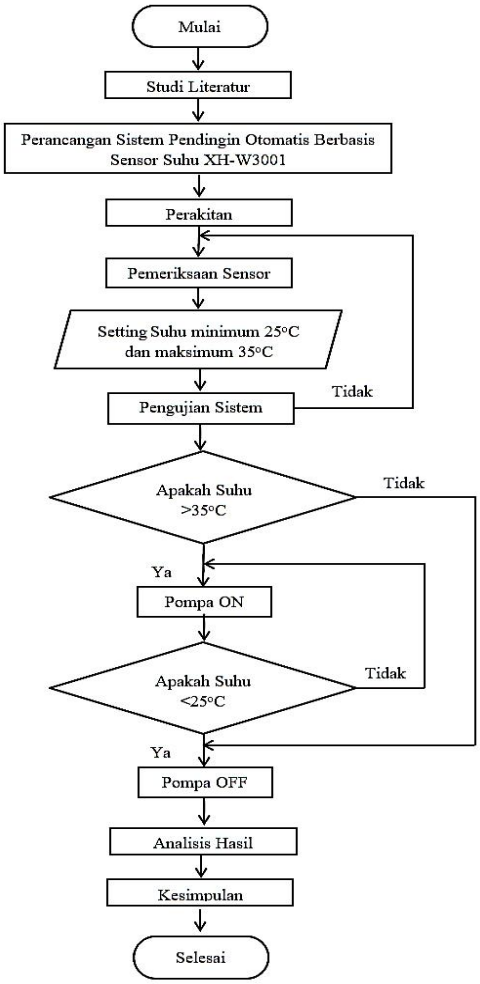
No	Keterangan
1	Nozel
2	Akrilik pembatas air
3	Selang penyalur air
4	Panel surya *monocrystalline* (50WP)
5	*Box* panel
6	Pompa air DC
7	*Box* kontainer penyimpanan air
8	Rangka penopang PLTS

G. Metode Pengujian Sistem Pendingin PLTS

Pengujian sistem pendingin otomatis pada panel surya dilakukan di Ulee Blang Mane, Kota Lhokseumawe, dengan intensitas cahaya matahari bervariasi. Pengujian meliputi verifikasi fungsi pendingin pada suhu 25-35°C, akurasi sensor, pengukuran intensitas cahaya, suhu permukaan panel, serta tegangan, arus, dan daya untuk menilai kinerja PLTS sebelum dan sesudah pendinginan.

H. Metode Analisis

Metode analisis dilakukan berdasarkan diagram *flowchart* di bawah ini. Diagram *flowchart* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gbr. 6 *Flowchart*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Merancang dan Membangun Sistem Pendingin Otomatis Berbasis Sensor Suhu XH-W3001

Perancangan sistem pendingin otomatis ini bertujuan menjaga suhu panel surya tetap optimal melalui kontrol *real-time*. Sensor suhu XH-W3001 mengatur pendingin agar aktif saat suhu tinggi dan berhenti ketika suhu turun, sehingga efisiensi meningkat, energi lebih hemat, serta panel terlindungi dari *overheating* dan memiliki umur lebih panjang.

B. Luas Permukaan Panel Surya Monocrystalline

Luas permukaan panel surya berpengaruh langsung pada jumlah energi matahari yang diserap dan dikonversi menjadi listrik. Oleh karena itu, ukuran panel perlu diperhatikan agar sistem bekerja efisien dan efektif. Detail ukuran panel ditunjukkan pada Tabel 7.

TABEL VII
Ukuran Panel Surya

Jenis Panel Surya	Kapasitas Panel Surya (Wp)	Ukuran Panel Surya (mm)
Monocrystalline	50 Wp	670 x 535 x 25 mm

Perhitungan Luas permukaan panel surya dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$A = P \times L$

$A = 0{,}67\ m \times 0{,}535\ m$

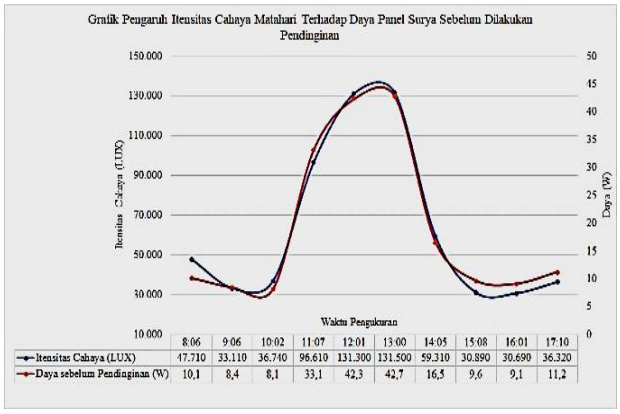
$A = 0{,}35845\ m^2$

C. Hasil Data Pengujian Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Panel Surya sebelum Pendinginan

Pengujian dilakukan selama tiga hari menggunakan alat ukur wattmeter digital, lux meter, dan thermostat digital untuk mengukur pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran panel surya sebelum pendinginan. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 8.

TABEL VIII
Pengujian Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Panel Surya sebelum dilakukan Pendinginan

No	Waktu Pengukuran	Intesitas Cahaya (LUX)	Suhu (OC)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	08:06	47.710	35	13,79	0,73	10,1
2.	09:05	33.110	35	13,97	0,60	8,4
3.	10: 02	36.740	35	13,55	0,60	8,1
4.	11: 07	96.610	35	16,24	2,04	33,1
5.	12: 01	131.300	35	17,13	2,46	42,3
6.	13: 00	131.500	35	16,69	2,56	42,7
7.	14: 05	59.310	35	14,59	1,13	16,5
8.	15: 08	30.890	35	13,79	0,69	9,6
9.	16: 01	30.690	35	13,69	0,66	9,1
10.	17: 10	36.320	35	13,62	0,82	11,2



Gbr. 7 Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari terhadap Daya Panel Surya sebelum dilakukan Pendinginan

Gambar grafik 7 memperlihatkan bahwa daya panel surya sangat dipengaruhi intensitas cahaya. Puncak daya terjadi pukul 12:00-13:00 saat intensitas mencapai 131.300-131.500 LUX dengan keluaran 42,3-42,7 W, sedangkan pada pagi dan sore daya lebih rendah seiring menurunnya intensitas cahaya.

Dalam penggunaan panel surya, daya listrik dapat dihitung dari hasil perkalian antara arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan oleh sel surya, dengan Persamaan 2. dimana pada hasil pengukuran jam 08:06 sebelum dilakukan pendinginan didapatkan:

I = 0,73 Ampere

V =13,79 Volt

P = V × I

= 13,79 × 0,73

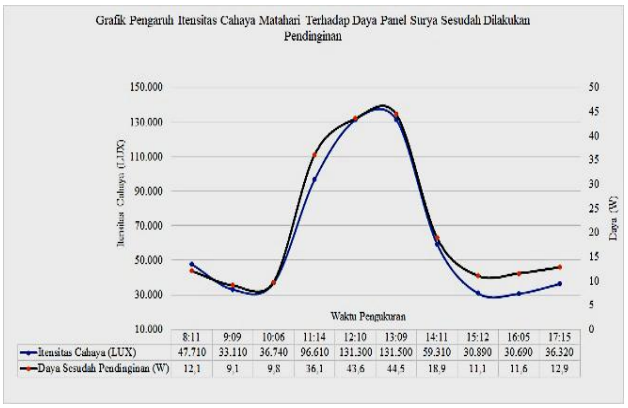
= 10,1 Watt

D. Hasil Data Pengujian intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Panel Surya sesudah dilakukan Pendinginan

Data pengukuran dan pengujian intensitas cahaya matahari terhadap daya panel surya sesudah dilakukan pendinginan dengan menyemprotkan air ke permukaan panel surya. dapat dilihat pada Tabel 9.

TABEL IX
Pengujian Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Panel Surya sesudah dilakukan Pendinginan

No	Waktu Pengukuran	Intesitas Cahaya (LUX)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efesiensi (%)
1	08:06	47.710	35	13,53	0,89	12,1	7,47
2	09:05	33.110	35	13,30	0,69	9,1	9,02
3	10: 02	36.740	35	13,57	0,72	9,8	7,78
4	11: 07	96.610	35	16,59	2,17	36,1	12,09
5	12: 01	131.300	35	17,75	2,60	43,6	11,37
6	13: 00	131.500	35	17,43	2,55	44,5	11,46
7	14: 05	59.310	35	14,95	1,26	18,9	9,82
8	15: 08	30.890	35	13,48	0,82	11,1	10,97
9	16: 01	30.690	35	13,78	0,84	11,6	10,47
10	17: 10	36.320	35	14,30	0,90	12,9	11,51
Rata-Rata Efisiensi							10,27



Gbr. 8 Grafik Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari terhadap Daya Panel Surya sesudah dilakukan Pendinginan

Gambar Grafik 8 menunjukkan hubungan intensitas cahaya, daya, dan arus panel surya setelah pendinginan. Pada 08:11 intensitas 47.710 Lux menghasilkan daya 12,1 W dan arus 0,89 A. Puncaknya terjadi pukul 13:09 dengan intensitas 131.500 Lux, daya 44,5 W, dan arus 2,55 A, menunjukkan pendinginan menjaga performa saat intensitas tinggi. Setelah itu intensitas menurun, namun daya tetap stabil, misalnya pukul 14:11 sebesar

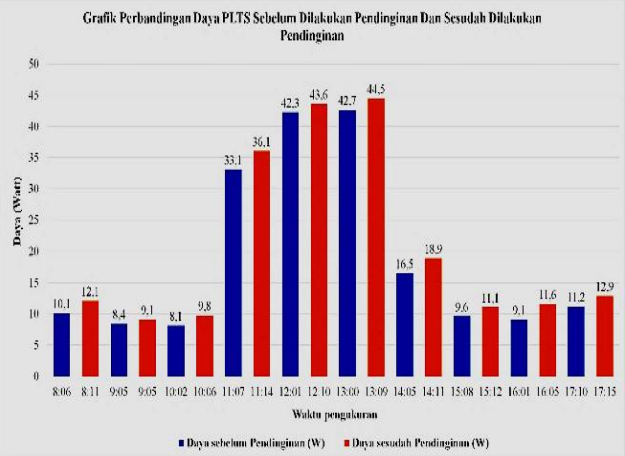
18,9 W dan pukul 17:15 masih 12,9 W. Hal ini membuktikan pendinginan membantu meningkatkan efisiensi sekaligus mempertahankan kinerja panel sepanjang hari.

Daya listrik pada panel surya dihitung dari perkalian arus (I) dan tegangan (V), sesuai Persamaan 2. Pada pengukuran pukul 08:06 sesudah pendinginan, diperoleh hasil berikut:

I = 0,89 Ampere
V = 13,53 Volt
P = V × I
= 13,53 × 0,89
= 12,1Watt

Dengan membandingkan besar daya yang diperoleh sebelum dilakukan pendinginan yaitu 10,1 Watt dan besar daya setelah melakukan pendinginan sebesar 12,1 Watt. Daya meningkat sebesar 2 Watt. Jika dipersentasekan sebesar:

$= \frac{2}{12,1} \text{ x } 100\%$
= 16,52 %



Gbr. 9 Grafik Perbandingan Daya PLTS sebelum dilakukan Pendinginan dan sesudah dilakukan Pendinginan

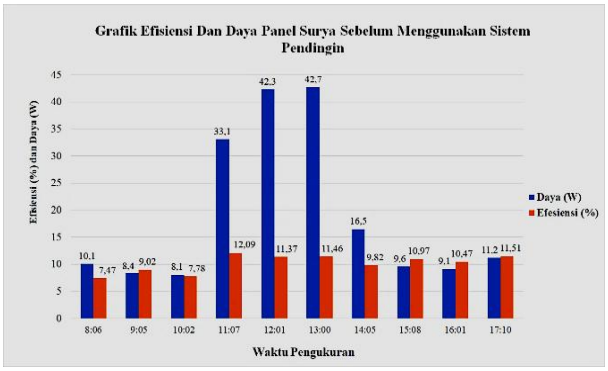
Grafik perbandingan daya panel surya sebelum dan sesudah pendinginan menunjukkan peningkatan konsisten di setiap waktu. Pada pagi hari daya naik dari 10,1 W menjadi 12,1 W, lalu pada siang hari pukul 13:00 meningkat dari 42,7 W menjadi 44,5 W, menandakan pendinginan efektif menjaga efisiensi saat suhu tinggi. Sore hari efeknya tetap terlihat, misalnya pukul 17:10 daya bertambah dari 11,2 W menjadi 12,9 W. Hal ini membuktikan pendinginan mampu mengurangi kerugian daya akibat panas dan membuat performa panel lebih stabil sepanjang hari.

E. Hasil Data Efisiensi Sebelum Menggunakan Sistem Pendingin

Data hasil efisiensi penel surya sebelum menggunakan sistem pendingin dapat dilihat pada Tabel 10.

TABEL X
Efisiensi Penel Surya sebelum menggunakan Sistem Pendingin

No.	Waktu Pengukuran	Intesitas Cahaya (LUX)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.	08:11	47.710	25	13,79	0,73	10,1
2.	09:09	33.110	25	13,97	0,60	8,4
3.	10: 06	36.740	25	13,55	0,60	8,1
4.	11: 14	96.610	25	16,24	2,04	33,1
5.	12: 10	131.300	25	17,13	2,46	42,3
6.	13: 09	131.500	25	16,69	2,56	42,7
7.	14: 11	59.310	25	14,59	1,13	16,5
8.	15: 12	30.890	25	13,79	0,69	9,6
9.	16: 05	30.690	25	13,69	0,66	9,1
10.	17: 15	36.320	25	13,62	0,82	11,2



Gbr. 10 Grafik Efisiensi dan Daya Panel Surya sebelum menggunakan Sistem Pendingin

Daya panel surya meningkat dari 10,1 W pada pukul 08:06 hingga puncak 42,3-42,7 W pada pukul 12:01-13:00, lalu menurun bertahap menjadi 11,2 W pada pukul 17:10, menunjukkan intensitas cahaya paling optimal di siang hari.

Efisiensi panel mencapai puncak 12,09% pada pukul 11:07, sedikit turun menjadi 11,37-11,46% saat daya maksimum pada pukul 12:01-13:00 karena suhu panel meningkat, kemudian stabil di 9-11,5% dan naik tipis menjadi 11,51% pada pukul 17:10 ketika suhu menurun. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun daya menurun sore hari, efisiensi panel tetap terjaga berkat penurunan suhu, sehingga kinerja konversi energi tetap optimal sepanjang hari.

Efisiensi panel surya dihitung dengan membandingkan daya keluaran dengan daya radiasi matahari sesuai Persamaan 4. Pada pengukuran pukul 08:06 sebelum pendinginan diperoleh nilai efisiensi sebagai berikut:

Poutput = 10,1 Watt
E = 47.710 × 0,0079 = 376,909 W/m²
A = 0,35845 m²

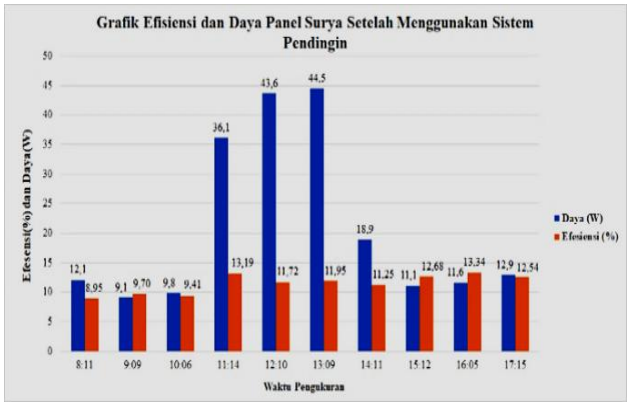
$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Poutput}}{\text{E} \times \text{A}} \times 100\%$$
$$= \frac{10,1}{376,909 \times 0,35845} \times 100\%$$
$$= \frac{10,1}{135,095} \times 100\%$$
$$= 7,47\%$$

F. Hasil Data Efisiensi Setelah Menggunakan Sistem Pendingin

Data hasil efisiensi penel surya setelah menggunakan sistem pendingin dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel XI
Efisiensi Penel Surya setelah menggunakan Sistem Pendingin

No.	Waktu Pengukuran	Intesitas Cahaya (LUX)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efesiensi (%)
1	08:11	47.710	25	13,53	0,89	12,1	8,95
2	09:09	33.110	25	13,30	0,69	9,1	9,70
3	10: 06	36.740	25	13,57	0,72	9,8	9,41
4	11: 14	96.610	25	16,59	2,17	36,1	13,19
5	12: 10	131.300	25	17,75	2,60	43,6	11,72
6	13: 09	131.500	25	17,43	2,55	44,5	11,95
7	14: 11	59.310	25	14,95	1,26	18,9	11,25
8	15: 12	30.890	25	13,48	0,82	11,1	12,67
9	16: 05	30.690	25	13,78	0,84	11,6	13,34
10	17: 15	36.320	25	14,30	0,90	12,9	12,54
Rata-Rata Efisiensi							11,47



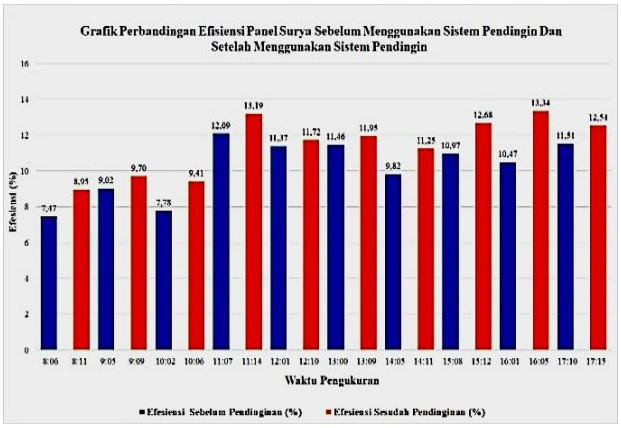
Gbr. 11 Grafik Efisiensi dan Daya Panel Surya setelah menggunakan Sistem Pendingin

Berdasarkan grafik 11, daya dan efisiensi panel surya dengan sistem pendingin bervariasi sepanjang hari dari pukul 08:11 hingga 17:15. Pagi hari daya 12,1 W pada pukul 08:11 menurun menjadi 9,1 W pada pukul 09:09 dan 9,8 W pada pukul 10:06, lalu meningkat tajam pada pukul 11:14 menjadi 36,1 W dengan efisiensi 13,19 persen. Puncak daya tercapai pukul 13:09 sebesar 44,5 W dengan efisiensi 11,95 persen, kemudian menurun sore hari menjadi 11,1 W pada pukul 15:12 dan 12,9 W pada pukul 17:15, sementara efisiensi tetap tinggi hingga 13,34 persen pada pukul 16:05. Hal ini menunjukkan sistem pendingin mampu menjaga efisiensi panel tetap optimal meski daya menurun akibat rendahnya intensitas cahaya. Perbandingan efisiensi sebelum dan sesudah pendinginan dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Untuk mengetahui seberapa optimal panel surya mengonversi energi matahari menjadi listrik, dilakukan perhitungan efisiensi. Nilai efisiensi diperoleh dengan membandingkan antara daya listrik keluaran panel dan daya radiasi matahari yang mengenai permukaannya. dengan Persamaan 4. Dimana pada hasil pengukuran jam 08:11 setelah di lakukan pendinginan didapatkan:

Poutput = 12,1 Watt
E = 47.710 × 0,0079 = 376,909 W/m²
A = 0,35845 m²

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Poutput}}{\text{E} \times \text{A}} \times 100\% = \frac{12,1}{376,909 \times 0,35845} \times 100\% = \frac{12,1}{135,095} \times 100\% = 8,95\%$$



Gbr. 12 Grafik Perbandingan Efisiensi Panel Surya sebelum menggunakan Sistem Pendingin dan setelah menggunakan Sistem Pendingin

Berdasarkan grafik pada Gambar 12 efisiensi panel surya selalu meningkat setelah pendinginan dibandingkan sebelum pendinginan. Pagi hari efisiensi naik dari 7,47 % menjadi 8,95 % pada pukul 08:06 dan dari 7,78 % menjadi 9,41 % pada pukul 10:02. Menjelang siang hingga sore, peningkatan tetap terlihat, misalnya pukul 11:07 dari 12,09 % menjadi 13,19 %, pukul 14:05 dari 9,82 % menjadi 11,25 %, dan pukul 16:01 dari 10,47 % menjadi 13,34 %. Hal ini menunjukkan pendinginan secara konsisten meningkatkan efisiensi panel surya, terutama saat suhu panel tinggi.

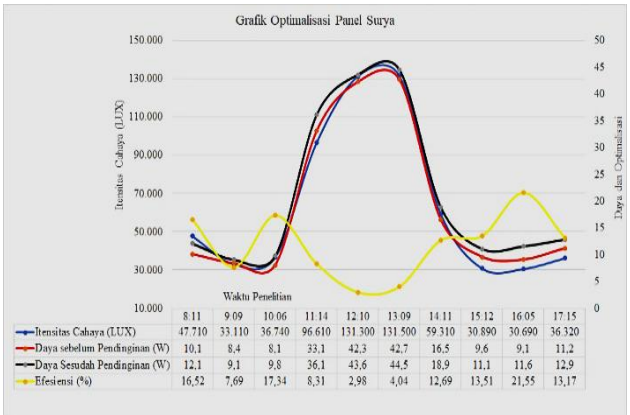
G. Hasil Data Optimalisasi Energi Output

Data hasil pengujian optimalisasi daya pada panel surya setelah menggunakan sistem pendingin pada hari pertama dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel XII
Optimalisasi Daya yang dihasilkan setelah menggunakan Sistem Pendingin

No.	Intesitas Cahaya Awal (LUX)	Sebelum Pendinmginan			Sesudah Pendinginan			Optima-lisasi (%)
		Waktu Pengu-kuran	Suhu Awal (°C)	Daya Awal (W)	Waktu Pengu-kuran	Suhu Akhir (°C)	Daya Akhir (W)	
1.	47.710	08:06	35	10,1	08:11	25	12,1	16,52
2.	33.110	09:05	35	8,4	09:09	25	9,1	7,69
3.	36.740	10: 02	35	8,1	10: 06	25	9,8	17,34

No.	Intesitas Cahaya Awal (LUX)	Sebelum Pendinmginan			Sesudah Pendinginan			Optima-lisasi (%)
		Waktu Pengu-kuran	Suhu Awal (°C)	Daya Awal (W)	Waktu Pengu-kuran	Suhu Akhir (°C)	Daya Akhir (W)	
4.	96.610	11: 07	35	33,1	11: 14	25	36,1	8,31
5.	131.300	12: 01	35	42,3	12: 10	25	43,6	2,98
6.	131.500	13: 00	35	42,7	13: 09	25	44,5	4,04
7.	59.310	14: 05	35	16,5	14: 11	25	18,9	12,69
8.	30.890	15: 08	35	9,6	15: 12	25	11,1	13,51
9.	30.690	16: 01	35	9,1	16: 05	25	11,6	21,55
10.	36.320	17: 10	35	11,2	17: 15	25	12,9	13,17
Rata – Rata Optimalisasi								11,78



Gbr. 13 Grafik Optimalisasi Panel Surya

Grafik 13 menunjukkan intensitas cahaya meningkat dari 47.710 LUX pukul 08:06 sebelum pendinginan menjadi 08:11 sesudah pendinginan dan mencapai puncak 131.300-131.500 LUX pukul 12:01-13:09. Daya setelah pendinginan selalu lebih tinggi, misalnya pukul 08:06-08:11 naik dari 10,1 W ke 12,1 W dan pukul 10:02-10:06 dari 8,1 W ke 9,8 W. Optimalisasi tertinggi 21,55 % tercatat pukul 16:01-16:05 saat intensitas rendah 30.690 LUX, menunjukkan pendinginan paling efektif saat suhu terkontrol pada pagi dan sore hari.

Untuk menilai hasil optimalisasi panel surya, dilakukan perbandingan daya listrik yang dihasilkan sebelum dan sesudah pendinginan pada rentang waktu pukul 08.06 hingga 08.11. Persentase peningkatan efisiensi dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$\text{Daya Awal} = 10{,}1 \text{ Watt}$$
$$\text{Daya Akhir} = 12{,}1 \text{ Watt}$$

$$\text{Optimalisasi} = \frac{\text{Daya Akhir - Daya Awal}}{\text{Daya Akhir}} \times 100\%$$
$$= \frac{12{,}1 - 10{,}1}{12{,}1} \times 100\%$$
$$= \frac{2}{12{,}1} \times 100\%$$
$$= 16{,}52\%$$

Berdasarkan Tabel 12, optimalisasi rata-rata dari jam 08.06 sampai dengan jam 17.10 adalah sebesar 11,78 %.

V. KESIMPULAN

1. Sistem pendingin otomatis yang menggunakan sensor XH-W3001 terbukti efektif. Saat suhu panel surya mencapai 35°C, sensor mengaktifkan pompa untuk menyemprotkan air, sehingga suhu panel turun menjadi 25°C. Proses ini berlangsung sesuai target, menjaga kestabilan suhu panel, dan meningkatkan efisiensi daya keluaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara optimal.
2. Pendinginan panel surya terbukti meningkatkan performa PLTS. Pada intensitas 30.690 LUX, daya naik dari 9,1 W menjadi 11,6 W, dan pada 131.500 LUX, daya meningkat dari 42,7 W menjadi 44,5 W. Penurunan suhu panel dari 35°C ke 25°C menjaga efisiensi konversi energi dan meningkatkan daya output secara keseluruhan.
3. Sistem pendingin yang menstabilkan suhu panel di 25°C mampu meningkatkan efisiensi, tertinggi 13,34% pada intensitas 30.690 LUX dan terendah 8,95% pada 47.710 LUX. Ini membuktikan bahwa kestabilan suhu lebih berpengaruh terhadap efisiensi dibanding intensitas cahaya semata.
4. Hasil pengujian menunjukkan sistem pendingin meningkatkan daya panel surya 2,98%–21,55% dengan rata-rata 11,75%. Pendinginan efektif menurunkan suhu dan mengoptimalkan efisiensi, terutama pada intensitas cahaya sedang hingga rendah.

REFERENSI

[1] Saputra, E., Purwanto, D., Rahim, S. R. U., & Bakhtiar, A. I. (2022). Peningkatan Performa Panel Surya dengan Sistem Pendingin untuk Mereduksi Panas Permukaan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, *23*(1), 28-35.

[2] Rusandi, F., & Nurpulaela, L. (2022). Perancangan Desain Alat Penstabil Suhu Otomatis pada Panel Surya 100 WP Berbasis IOT. *Power Elektronik*, *11*(2), 521921.

[3] Nižetić, S., Čoko, D., Yadav, A., & Grubišić-Čabo, F. (2016). Water Spray Cooling Technique Applied on a Photovoltaic Panel: The Performance Response. *Energy conversion and management*, *108*, 287-296.

[4] Abdullah, A., Putri, M., Iriani, J., Hulu, F. N., & Cholish, C. (2023). Sistem Pendinginan Permukaan Panel Surya dalam Optimalisasi Kerja Panel Surya dengan Monitoring Internet of Things. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, *6*(1), 61-67.

[5] Cahyadi, C. I., Oka, I. G. A. A. M., & Kusyadi, D. (2020). Efektifitas Kinerja Solar Cell pada PLTS dengan Sumber 50WP. *Jurnal Teknovasi: Jurnal*

Teknik dan Inovasi Mesin Otomotif, Komputer, Industri dan Elektronika, *7*(3), 47-56.

[6] Analisa Performa kinerja PLTS Off Grid yang dirangkai Seri Paralel untuk Penerangan Ruangan . (2023). *Jurnal Ampere*, *8*(2), 138-152.

[7] Hafidhuddien, M. A., Kristi, A. A., & Rachman, N. A. (2020). Perancangan Sistem Pendingin Photovoltaic dengan Memanfaatkan Kontroler Water Spray. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, *12*(2), 47-53.

[8] Ying, L. I. U., & Yiping, L. I. U. (2020, November). The Study of Temperature Calibration Method for NTC Thermistor. In *2020 IEEE 4th International Conference on Frontiers of Sensors Technologies (ICFST)* (pp. 50-53). IEEE.

[9] Hardianto, R. A. B.. (2023). *Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Kebersihan Air dalam Tangki menggunakan Sensor Turbidity, TDS, dan pH dengan Arduino Uno berbasis IoT.* Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif HIdayatullah Jakarta.

[10] Magaski, Y. A., & Anwari, S. (2022). Perancangan Sistem Pengukuran Temperatur Air sebagai Sistem Monitoring Temperatur Boiler Menggunakan NTC 3950. *e-Proceeding FTI, Institut Teknologi Nasional Bandung*.