

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN SOLAR
PANEL DENGAN METODE PENDINGINAN PASIF
BERBASIS *PHASE CHANGE MATERIAL***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

MADE BAYU ANTARIKSA

NIM. 2115234020

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar karena terletak di garis khatulistiwa, yang membuat sinar matahari yang diterima cukup intens. Panel surya rata-rata mempunyai efektivitas kerja optimal pada *temperature* 32-50°C. Kinerja panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti radiasi matahari, suhu lingkungan, dan kecepatan angin. Penelitian ini menggunakan panel surya 160WP dengan jenis polikristalin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan daya keluaran panel surya dengan metode pendinginan menggunakan Phase Change Material Paraffin Wax. Data temperatur pada sistem diukur menggunakan thermometer, tegangan dan arus pada sistem diukur menggunakan multitester atau wattmeter, serta intensitas cahaya diukur menggunakan environment meter setiap lima belas menit sekali selama lima jam pengujian. Data yang digunakan sebagai acuan adalah rata-rata *temperature*, tegangan, arus, daya output (watt), dan efisiensi (%) panel surya.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendinginan dengan *PCM Paraffin Wax* pada panel surya berkapasitas 160 WP memberikan peningkatan signifikan dalam kinerja dan efisiensi. Panel surya menggunakan *PCM Paraffin Wax*, Efisiensi yang dihasilkan sebesar 16,61%. Penggunaan *PCM Paraffin Wax* mempengaruhi peningkatan efisiensi, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi panel surya. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penambahan *PCM Paraffin Wax* pada panel surya dapat menurunkan suhu permukaan, sehingga meningkatkan efisiensi. Oleh karena itu, untuk aplikasi praktis yang memerlukan kinerja optimal, penggunaan *PCM Paraffin Wax* direkomendasikan.

Kata Kunci: *Panel Surya, Sistem Pendingin, PCM Paraffin Wax, Efisiensi*

SOLAR PANEL COOLING SYSTEM DESIGN WITH PASSIVE COOLING METHOD BASED ON PHASE CHANGE MATERIAL

ABSTRACT

Indonesia possesses substantial solar energy potential due to its geographical position along the equator, which ensures consistently high solar irradiance. Solar panels typically operate at optimal efficiency within the temperature range of 32–50°C. The performance of solar photovoltaic (PV) systems is influenced by several factors, including solar radiation, ambient temperature, and wind speed. In this study, a 160 WP polycrystalline solar panel was employed with the objective of enhancing its power output through the application of a cooling system utilizing Phase Change Material (PCM) Paraffin Wax. Temperature measurements were conducted using a thermometer, while voltage and current were measured with a multimeter or wattmeter. Solar irradiance was monitored using an environment meter at fifteen-minute intervals over a five-hour testing period. The primary data used for analysis included the average temperature, voltage, current, output power (W), and efficiency (%) of the solar panel.

The experimental findings demonstrated that the integration of PCM Paraffin Wax as a cooling medium significantly improved the performance and efficiency of the 160 WP solar panel. The solar panel with PCM Paraffin Wax achieved an efficiency of 16.61%. The results indicate that the implementation of PCM effectively reduces the surface temperature of the panel, thereby enhancing its efficiency. In conclusion, the incorporation of PCM Paraffin Wax in photovoltaic systems is shown to be a viable approach for reducing operating temperatures and improving efficiency. Hence, its application is recommended for practical implementations that demand optimal solar panel performance.

Keywords: Solar Panel, Cooling System, PCM Paraffin Wax, efficiency

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.4.1 Tujuan Umum.....	3
1.4.2 Tujuan Khusus.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.5.1 Bagi Penulis	4
1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali.....	4
1.5.3 Bagi Mahasiswa.....	4
1.5.4 Bagi Masyarakat	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Pengertian Energi.....	6
2.2 Pengertian Energi Listrik.....	7
2.3 Energi Matahari	7
2.4 Panel Surya	8

2.5	Jenis Panel Surya	9
2.6	Prinsip Kerja Panel Surya	11
2.7	Sistem dan Komponen Pada Panel Surya	12
2.8	Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya	15
2.9	Temperatur Kinerja Optimum pada panel surya	16
2.10	Daya Output Panel Surya.....	17
2.11	Daya Input Panel Surya	17
2.12	Efisiensi Panel Surya	18
2.13	Pengertian Phase Change Material	18
2.14	Panas Laten.....	19
2.15	Jenis - Jenis Phase Change Material	20
2.15.1	Phase Change Material Organik	20
2.15.2	Phase Change Material Anorganik	21
2.15.3	Phase Change Material Eutektik.....	22
2.15.4	Karakteristik Phase Change Material	23
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1	Jenis Penelitian	24
3.2	Desain atau Permodelan	25
3.2.1	Rangkaian Panel Surya Menggunakan PCM.....	27
3.3	Alur Penelitian.....	29
3.4	Lokasi dan Waktu Penelitian	29
3.5	Penentuan Sumber Data.....	29
3.6	Sumber Daya Penelitian	30
3.7	Instrumen Penelitian	32
3.8	Prosedur Penelitian	35
3.8.1	Langkah Persiapan	35
3.8.2	Langkah Pengambilan Data	37
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Hasil Penelitian.....	39
4.1.1	Pembuatan, Perakitan, Dan Pemasangan <i>PCM Paraffin Wax</i> pada Panel Surya	40
4.1.2	Skematik Pemasangan <i>PCM Paraffin Wax</i>	46

4.1.3	Pengujian Panel Surya Menggunakan <i>PCM Paraffin Wax</i>	46
4.1.4	Pengujian Panel Surya Tanpa Menggunakan Pendingin	53
4.2	Pembahasan	60
4.2.1	<i>Temperature</i> Permukaan Solar Panel	60
4.2.2	Pengukuran Unjuk Kerja Solar Panel	62
BAB V PENUTUP		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	72
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN		77

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	29
Tabel 3. 2 Karakteristik <i>PCM Paraffin wax</i>	31
Tabel 3. 3 Data tabel yang akan digunakan untuk pengambilan data	38
Tabel 4. 1 Alat yang digunakan untuk pembuatan, perakitan dan pemasangan.	40
Tabel 4. 2 Komponen dibutuhkan dalam pembuatan, pemasangan dan perakitan <i>PCM Paraffin Wax</i>	41
Tabel 4. 3 Bahan yang digunakan dalam pembuatan, pemasangan dan perakitan <i>PCM Paraffin Wax</i>	41
Tabel 4. 4 Data hasil pengujian menggunakan <i>PCM Paraffin wax</i>	48
Tabel 4. 5 Data hasil pengujian panel surya tanpa menggunakan PCM	55
Tabel 4. 6 Rata-rata <i>temperature</i> permukaan yang dihasilkan.....	61
Tabel 4. 7 Rata-rata tegangan yang dihasilkan.....	62
Tabel 4. 8 Rata-rata ampere yang dihasilkan	63
Tabel 4. 9 Rata-rata perbandingan daya input.....	65
Tabel 4. 10 Rata-rata daya output yang dihasilkan	66
Tabel 4. 11 Rata-rata Efisiensi yang dihasilkan.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Energi Surya	8
Gambar 2. 2 Panel Surya	9
Gambar 2. 3 Jenis Panel Surya <i>Monocrystalline</i>	10
Gambar 2. 4 Jenis Panel Surya <i>Polycrystalline</i>	10
Gambar 2. 5 Jenis Panel Surya Thin Film <i>photovoltaic</i>	11
Gambar 2. 6 Modul Panel Surya	13
Gambar 2. 7 Inverter.....	13
Gambar 2. 8 Baterai.....	14
Gambar 2. 9 Panel Kontrol	14
Gambar 2. 10 PCM Organik (paraffin wax & bee wax)	21
Gambar 2. 11 PCM Anorganik (Natrium sulfat dekahidrat)	22
Gambar 2. 12 PCM Eutektik	23
Gambar 3. 1 3D skema pendinginan pada panel surya menggunakan PCM.....	24
Gambar 3. 2 Desain penambahan PCM pada panel surya.....	26
Gambar 3. 3 Rangkaian sistem panel surya menggunakan PCM.....	28
Gambar 3. 4 Diagram alur penelitian	28
Gambar 3. 5 Ukuran panel surya	30
Gambar 3. 6 Paraffin wax.....	31
Gambar 3. 7 Cetakan PCM paraffin	32
Gambar 3. 8 Gerinda tangan.....	32
Gambar 3. 9 Las listrik	33
Gambar 3. 10 Bor tangan.....	33
Gambar 3. 11 Termokopel.....	34
Gambar 3. 12 Lux meter.....	34
Gambar 3. 13 Multimeter	35
Gambar 3. 14 Stopwatch	35
Gambar 4. 1 Solar panel dengan pendingin <i>PCM Paraffin Wax</i>	39
Gambar 4. 2 Proses pembuatan talang PCM	42

Gambar 4. 3 Pembuatan <i>PCM Paraffin Wax</i>	44
Gambar 4. 4 Perakitan dan pemasangan <i>pcm paraffin wax</i> pada panel surya.....	45
Gambar 4. 5 Pengujian panel surya menggunakan <i>PCM Paraffin Wax</i>	47
Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara waktu terhadap intensitas cahaya.....	50
Gambar 4. 7 Grafik hubungan antara waktu terhadap <i>temperature</i> permukaan panel surya.....	50
Gambar 4. 8 Hubungan antara waktu terhadap intensitas cahaya dan <i>temperature</i> permukaan panel surya	51
Gambar 4. 9 Grafik hubungan antara waktu terhadap voltase dan <i>temperature</i> permukaan panel surya	52
Gambar 4. 10 Hubungan antara waktu terhadap ampere dan <i>temperature</i> permukaan panel surya	52
Gambar 4. 11 Hubungan antara waktu terhadap efisiensi panel surya.....	53
Gambar 4. 12 Pengujian panel surya tanpa menggunakan pendingin.....	54
Gambar 4. 13 Grafik hubungan antara waktu terhadap intensitas cahaya.....	57
Gambar 4. 14 Grafik hubungan antara waktu terhadap <i>temperature</i> permukaan panel surya.....	57
Gambar 4. 15 Grafik hubungan antara waktu terhadap intensitas cahaya dan <i>temperature</i> permukaan panel surya	58
Gambar 4. 16 Grafik hubungan antara waktu terhadap voltase dan <i>temperature</i> permukaan panel surya.....	59
Gambar 4. 17 Grafik hubungan antara waktu terhadap ampere dan <i>temperature</i> panel surya	59
Gambar 4. 18 Grafik hubungan antara waktu terhadap efisiensi panel surya	60
Gambar 4. 19 Grafik perbandingan <i>temperature</i> permukaan solar panel	61
Gambar 4. 20 Grafik perbandingan tegangan.....	62
Gambar 4. 21 Grafik perbandingan Ampere	63
Gambar 4. 22 Grafik perbandingan daya input	64
Gambar 4. 23 Grafik perbandingan daya output	66
Gambar 4. 24 Grafik perbandingan efisiensi.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil pengujian tanpa menggunakan PCM.....	77
Lampiran 2 Data hasil pengujian menggunakan PCM	78
Lampiran 3 Gambar 3D Skema Pendinginan panel surya menggunakan PCM ...	79
Lampiran 4 Gambar Panel surya dengan pendingin PCM.....	80
Lampiran 5 Pembuatan talang PCM	80
Lampiran 6 Proses pembuatan PCM Paraffin Wax	81
Lampiran 7 Proses pemasangan PCM pada panel surya.....	82
Lampiran 8 Proses Pengujian panel surya menggunakan PCM dan tanpa	82
Lampiran 9 Lembar bimbingan dosen pembimbing 1	83
Lampiran 10 Lembar bimbingan dosen pembimbing 2	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu masalah utama yang dialami oleh seluruh negara di dunia. Mengingat bahwa energi merupakan salah satu faktor yang mendukung pengembangan dari suatu negara tersebut. Semakin hari energi yang dibutuhkan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk yang semakin meningkat pula. Semakin meningkatnya jumlah energi yang dipakai, maka semakin sedikit pula persediaan pencadangan energi konvensional.

Sumber energi yang bisa digunakan sebagai energi *alternative* salah satunya dengan memanfaatkan sumber energi matahari. Sumber energi matahari merupakan salah satu harapan utama sebagai sumber energi alam yang tidak pernah habis dan dapat mengurangi dampak pemanasan global yang ditimbulkan oleh buangan gas, dan bahan-bahan lain yang dapat membentuk efek rumah kaca. Sumber energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang semakin meningkat pengembangannya di setiap tahunnya.

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas pulau-pulau yang kecil dan banyak yang terpencil menyebabkan sulit untuk dijangkau oleh jaringan listrik yang bersifat terpusat. Secara letak geografis, Indonesia berada di garis khatulistiwa, sehingga Indonesia sangat kaya akan sumber energi surya dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 KWh/m^2 per hari di seluruh wilayah Indonesia (Sabina Deby *et al*, 2024). Negara ini memiliki jumlah hari yang cerah dan cukup panjang sepanjang tahun yang membuatnya cocok untuk pengembangan teknologi pengumpulan energi surya. Salah satu jenis pengumpulan energi surya yang cocok untuk digunakan adalah teknologi *Photovoltaic* (PV) atau yang dikenal dengan panel surya, mampu mengonversi energi surya menjadi energi listrik.

Panel surya bekerja dengan efisiensi optimal pada *temperature* tertentu. Ketika *temperature* permukaan panel meningkat akibat paparan sinar matahari yang terus menerus, efisiensi konversinya cenderung menurun. Penelitian menunjukkan

bahwa efisiensi panel surya dapat menurun sebesar 0,4% hingga 0,5% untuk setiap kenaikan *temperature* sebesar 1°C di atas *temperature* optimal operasionalnya (Hasrul, 2021). Dalam kondisi optimal, *temperature* permukaan panel dapat mencapai 32–50°C, jika melebihi *temperature* optimal mengakibatkan penurunan kinerja yang signifikan (Pujotomo & Aita Diantari, 2018). Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah penerapan sistem pendinginan pada panel surya. Metode pendinginan secara umum terbagi menjadi dua jenis, yaitu aktif dan pasif. Metode pendinginan aktif, seperti penggunaan sistem pendingin berbasis cairan, memerlukan tambahan energi untuk beroperasi. Hal ini menyebabkan efisiensi keseluruhan sistem menurun karena sebagian energi yang dihasilkan panel digunakan untuk mendukung sistem pendingin itu sendiri (Hasrul, 2021). Dalam penelitian sebelumnya yang menggunakan 9 Buah *TEC temperature* pada solar panel (fotovoltaik) mencapai *temperature* tertinggi 50,8°C sampai *temperature* terendah 46,1 °C dan perolehan intensitas cahaya pada penelitian sebelumnya dengan rata-rata 510,01 W/m² (Moh Maulana, 2024).

Metode pendinginan pasif yang menggunakan *phase change material* (PCM) menjadi salah satu pendekatan yang menjanjikan. PCM adalah material yang mampu menyerap dan melepaskan energi panas selama proses perubahan fase, seperti dari padat ke cair atau sebaliknya. Sifat termal PCM ini memungkinkan material untuk menyimpan panas saat *temperature* meningkat dan melepaskannya saat *temperature* menurun, sehingga dapat menjaga kestabilan *temperature* permukaan panel surya (Ling *et al*, 2014). Penggunaan PCM tidak hanya meningkatkan efisiensi termal, tetapi juga mendukung pengembangan teknologi yang ramah lingkungan dan hemat energi. Namun, implementasi PCM pada sistem pendingin panel surya memerlukan perancangan yang matang. Beberapa aspek penting yang harus diperhatikan meliputi pemilihan jenis PCM yang memiliki titik leleh sesuai dengan kebutuhan *temperature* panel surya, desain sistem distribusi panas yang efisien, serta analisis performa termal dari sistem secara keseluruhan. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan PCM yang tepat dapat meningkatkan efisiensi panel surya hingga 10% dibandingkan dengan sistem tanpa pendinginan (Sivasamy *et al*, 2018).

Pada penelitian ini bertujuan untuk menurunkan temperatur permukaan panel surya dalam meningkatkan daya keluaran panel surya dengan metode pendinginan. Maka dari itu dirancang sebuah sistem pendingin panel surya menerapkan metode pendinginan pasif berbasis *Phase Change Material*. Sistem pendingin ini diharapkan mampu menurunkan *temperature* pada panel surya dan meningkatkan nilai efisiensi daya listrik yang dihasilkan. Dengan demikian, *temperature* pada panel surya sebaiknya tetap terjaga sesuai yang diharapkan yakni tetap stabil di *temperature* optimalnya (Nie *et al*, 2021). Maka dari itu penulis ingin menggunakan pendinginan pasif berbasis *phase change material* untuk menurunkan *temperature* panel surya dan meningkatkan keluaran daya panel surya dari penelitian sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas maka permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana desain perancangan panel surya menggunakan pendingin *Phase Change Material*
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *Phase Change Material* sebagai sistem pendingin terhadap kinerja panel surya dibandingkan dengan panel surya tanpa penggunaan *Phase Change Material*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini hanya difokuskan pada kinerja panel surya dengan menggunakan *Phase Change Material*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian terdiri atas tujuan umum dan tujuan khusus yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.4.1 Tujuan Umum

Adapun tujuan umum dari penyusunan proposal skripsi ini adalah:

- a. Sebagai persyaratan untuk memenuhi syarat akademik dalam menyelesaikan pendidikan sarjana terapan program studi D4 Teknologi Rekayasa Utilitas Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

- b. Sebagai pengkajian dan pengaplikasian ilmu pengetahuan dan praktikum yang diperoleh selama masa perkuliahan.

1.4.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus dari penyusunan proposal skripsi ini adalah:

- a. Mampu membuat desain dari sistem pendinginan panel surya yang menggunakan *Phase Change Material*.
- b. Mampu mengetahui pengaruh penggunaan *Phase Change Material* sebagai sistem pendingin terhadap kinerja panel surya dan perbandingan kinerja panel surya tanpa penggunaan *Phase Change Material*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil analisis yang berjudul “Perancangan Sistem Pendingin Solar Panel Dengan Metode Pendinginan Pasif Berbasis *Phase Change Material* “ diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis, dan sebagai sarana pembelajaran khusus praktikum di Politeknik Negeri Bali.

1.5.1 Bagi Penulis

Sebagai sarana untuk menerapkan dan mengembangkan ilmu – ilmu yang didapat selama mengikuti perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali baik secara teori maupun praktek. Selain itu merupakan syarat menyelesaikan pendidikan sarjana terapan program studi D4 Teknologi Rekayasa Utilitas Jurusan Teknik Mesin Politeknik negeri Bali.

1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali

Sebagai sarana pendidikan atau ilmu pengetahuan dibidang energi terbarukan di kemudian hari dan sebagai salah satu pertimbangan untuk dapat dikembangkan kembali.

1.5.3 Bagi Mahasiswa

Penelitian tentang penggunaan PCM (*Phase Change Material*) sebagai pendingin permukaan panel surya dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa yaitu dapat memberikan pemahaman tentang cara kerja dan kinerja PCM sebagai pendingin permukaan panel surya dan dapat meningkatkan keterampilan

mahasiswa dalam menggunakan peralatan dan teknik analisis yang digunakan dalam penelitian.

1.5.4 Bagi Masyarakat

Penelitian tentang penggunaan PCM sebagai pendingin panel surya dapat memberikan manfaat bagi masyarakat yaitu membantu dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan menyediakan sumber energi yang lebih terjangkau dan stabil.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian panel surya dengan sistem pendingin menggunakan *PCM Paraffin Wax* dapat disimpulkan bahwa :

1. Perancangan hasil desain sistem pendingin menggunakan *PCM Paraffin Wax* diaplikasikan pada panel surya 160 WP jenis *polycrystalline* yang berukuran 1,49 m x 0,67 m. Kedua *PCM Paraffin Wax* ini ditempatkan di bagian belakang panel surya di bagian atas dan bawah permukaan panel surya bagian belakang untuk mendistribusikan penyerapan panas secara merata. Desain ini efektif dalam meningkatkan daya keluaran dari panel surya tersebut.
2. Penggunaan *PCM Paraffin Wax* pada panel surya terbukti mampu meningkatkan kinerja sistem secara signifikan dibandingkan panel surya tanpa *PCM Paraffin Wax*. Hal ini disebabkan oleh kemampuan *PCM Paraffin Wax* dalam menyerap dan menyimpan panas berlebih yang timbul saat panel surya beroperasi. Pada panel surya tanpa *PCM Paraffin Wax*, suhu permukaan modul cenderung meningkat tajam akibat paparan sinar matahari secara langsung. Kenaikan suhu ini berdampak negatif terhadap efisiensi konversi energi karena kinerja sel surya sangat sensitif terhadap temperatur. Dalam kondisi tersebut, efisiensi rata-rata panel surya hanya mencapai 14,97%. Sebaliknya, panel surya yang dilengkapi dengan *PCM Paraffin Wax* menunjukkan performa lebih baik. *PCM Paraffin Wax* bekerja sebagai penyerap panas laten, sehingga mampu menjaga suhu sel surya tetap stabil mendekati kondisi optimal. Dengan suhu kerja yang lebih terkendali, panel dapat menghasilkan output listrik yang lebih tinggi. Efisiensi yang dicapai pada sistem panel surya dengan *PCM Paraffin Wax* meningkat menjadi 16,61%, atau sekitar 1,64% lebih tinggi dibandingkan sistem panel surya tanpa *PCM Paraffin Wax*.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa penerapan *PCM Paraffin Wax* pada panel surya tidak hanya memberikan manfaat pada sisi teknis berupa efisiensi energi yang lebih baik, tetapi juga berkontribusi dalam memperpanjang umur pakai panel surya dengan mengurangi fluktuasi termal.

5.2 Saran

1. Membuat ukuran talang yang lebih besar agar penyerapan panas laten yang diserap oleh *PCM Paraffin Wax* lebih tinggi.
2. Sebaiknya melakukan pengujian tambahan dalam berbagai kondisi lingkungan (suhu dan intensitas cahaya) untuk memastikan kinerja yang konsisten dan andal.
3. Pengujian selanjutnya sebaiknya dilakukan penambahan heat sink agar pembuangan panas *PCM Paraffin Wax* maksimal.
4. Pengujian selanjutnya sebaiknya menggunakan 2 panel surya, yaitu panel surya pertama untuk pengujian tanpa PCM, panel surya yang kedua menggunakan PCM, agar data yang dihasilkan lebih meyakinkan.
5. Untuk meminimalisir kesalahan yang diakibatkan oleh variabel lain selain penambahan variabel *PCM Paraffin Wax*, maka penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan media cahaya buatan agar intensitas cahaya yang dihasilkan bisa diatur dan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, H. (2021). Monitoring pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap kinerja daya dan efisiensi pembangkit listrik tenaga surya menggunakan radio frekuensi pada bangunan bertingkat / Hartawan Abdillah. *Energies*, 10(2).
- Ali, M., & Windarta, J. (2020). Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Energi Bersih yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(2), 68–77. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10059>
- Amin, M. S., Emidiana, Kartika, I., & Irwansi, Y. (2022). Penggunaan Panel Surya Sebagai Pembangkit Listrik Pada Alat Pengering Makanan. *Jurnal Ampere*, 7(1), 15–21. <https://jurnal.univpgri.palembang.ac.id/index.php/ampere/article/view/7703/5898>
- Anggara, M., & Saputra, W. (2023). Analisis Kinerja Sel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline di Kabupaten Sumbawa NTB. *Jurnal Flywheel*, 14(1), 7–12. <https://doi.org/10.36040/flywheel.v14i1.6521>
- Burgess, M., Enzle, M. E., & Morry, M. (2021). The social psychological power of photography: Can the image-freezing machine make something of nothing? In *European Journal of Social Psychology* (Vol. 30, Issue 5, pp. 613–630). [https://doi.org/10.1002/1099-0992\(200009/10\)30:5<613::aid-ejsp11>3.3.co;2-j](https://doi.org/10.1002/1099-0992(200009/10)30:5<613::aid-ejsp11>3.3.co;2-j)
- Chang, Y., Yao, X., Chen, Y., huang, L., & Zou, D. (2023). Review on ceramic-based composite phase change materials: Preparation, characterization and application. *Composites Part B: Engineering*, 254(January), 110584. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110584>
- Cheto Riskiantoro. (2023). *Sebagai Reinforced Composite Phase Change Material Teri N Tegrasi Heat Pipe U N Tuk Pe N Gemba N Ga N Ma N Ajeme N Termal*.
- Demak, R. K., & Hatib, R. (2016). *Komparasi Energi Surya Dengan Lampu Halogen Terhadap*. 7(1), 625–633.
- Doyan, A., Taufik, M., & Annam, S. (2024). *Trends Research Characterization of TiO 2 Thin Films as Solar Cell Materials (2015-2024): A Systematic Review*. 10(10), 721–729. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i10.8470>
- Dwisari, V., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan. *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 376–384. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3322>

- E. Skoplaki, J. A. P. (2009). No Title. *On the Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A Review of Efficiency/Power Correlations*, 83(5), 614–624.
- Hachim, D. M., Abed, Q. A., & Kamil, F. (2021). New eco-friendly coating for the higher temperature solar cell by nano-composite. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 43(20), 2456–2470. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1860162>
- Harahap, P. (2020). *Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya*. 73–80.
- Hasrul, R. (2021). Sistem Pendinginan Aktif Versus Pasif Di Meningkatkan Output Panel Surya. *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, 5(2), 79–87.
- Indra Bayu, J., Budi Sulistiyawati, I., & Putu Agustini, N. (2023). Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Fortech*, 4(1), 27–32. <https://doi.org/10.56795/fortech.v4i1.4104>
- Ishii, T., Otani, K., Takashima, T., & Kawai, S. (2011). *Solar Energy Materials & Solar Cells Estimation of the maximum power temperature coefficients of PV modules at different time scales*. 95, 386–389. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.04.041>
- Krupa, I., Miková, G., & Luyt, A. S. (2007). Phase change materials based on low-density polyethylene/paraffin wax blends. *European Polymer Journal*, 43(11), 4695–4705. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2007.08.022>
- Laksana, E. P., Sanjaya, O., Sujono, S., Broto, S., & Fath, N. (2022). Sistem Pendinginan Panel Surya dengan Metode Penyemprotan Air dan Pengontrolan Suhu Air menggunakan Peltier. *Elkomika: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(3), 652. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i3.652>
- Lambey, D. S., Amin, N., Pirade, Y. S., & Santoso, R. (2021). *Efisiensi Energi Di Kantor Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Kabupaten Tojo Una-Una*. 108–114.
- Ling, Z., Zhang, Z., Shi, G., Fang, X., Wang, L., Gao, X., Fang, Y., Xu, T., Wang, S., & Liu, X. (2014). Review on thermal management systems using phase change materials for electronic components, Li-ion batteries and photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.017>

- Moh Maulana. (2024). *Skripsi analisis eksperimental unjuk kerja solar panel (fotovoltaik) dengan sistem pendingin permukaan berbasis thermoelectric cooler*.
- Nie, B., Chen, J., Du, Z., Li, Y., Zhang, T., Cong, L., Zou, B., & Ding, Y. (2021). Thermal performance enhancement of a phase change material (PCM) based portable box for cold chain applications. *Journal of Energy Storage*, 40(January), 102707. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102707>
- Pujotomo, I., & Aita Diantari, R. (2018). Characteristics Surface Temperature of Solar Cell Polycrystalline Type to Output Power. *E3S Web of Conferences*, 73, 8–11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187301008>
- Rahardjo, D. C., Fitri, S. P., & Wardhana, E. M. (2023). Analisis Kinerja Termal Sistem Refrigerasi Hybrid Menggunakan Phase Change Material Pada Eco Reefer Container Kapasitas ½ Ton. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), 3–9. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i3.124112>
- Rina, B., & Safitri, A. (2010). *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram Vol. 6. No.1 ISSN:2355-6358*. 6(1), 9–15.
- Rovida Camalia Hartantrie, Ryann Argadiraksa, & I Gede Eka Lesmana. (2022). Pengaruh Penggunaan Lapisan Phase Change Material Parafin Grafit Sebagai Pendingin Terhadap Efisiensi Panel Surya Polycrystalline. *Infotekmesin*, 13(2), 329–334. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v13i2.1549>
- Sabina Deby, Luthfiyah Hasna Muthi, & Rustini Tin. (2024). Kajian Literatur Materi Pembelajaran Karakteristik Geografis Indonesia di Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8(2614–6754), 2094–2102.
- Schmit, H., Rathgeber, C., Hooock, P., & Hiebler, S. (2020). Critical review on measured phase transition enthalpies of salt hydrates in the context of solid-liquid phase change materials. *Thermochimica Acta*, 683, 178477. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2019.178477>
- Setyono, G., Kholili, N., & Rakhmadanu, Y. (2022). *The Impact of Utilization The Solar-Panels With a Cooling-Water System as a Source of Micro-Power Generation*. 13(01), 87–92. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v13i1.1001>
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>
- Si, M., Rahayu, S., Usna, A., Si, M., & Fisika, D. (2023). *Efektivitas Perubahan*

Fase Material KCl / H₂O Sebagai Sistem Pendingin Ikan Laut Skripsi Dosen Pembimbing : 1–3.

- Sianipar, R. (2017). Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 11, 61–78. <https://doi.org/10.25105/jetri.v11i2.1445>
- Sivasamy, P., Devaraju, A., & Harikrishnan, S. (2018). Review on Heat Transfer Enhancement of Phase Change Materials (PCMs). *Materials Today: Proceedings*, 5(6), 14423–14431. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.03.028>
- Sun, H., Ryno, S., Zhong, C., Ravva, M. K., Sun, Z., Körzdörfer, T., & Brédas, J. L. (2016). Ionization Energies, Electron Affinities, and Polarization Energies of Organic Molecular Crystals: Quantitative Estimations from a Polarizable Continuum Model (PCM)-Tuned Range-Separated Density Functional Approach. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 12(6), 2906–2916. <https://doi.org/10.1021/acs.jctc.6b00225>
- Suryana, D. (2016). Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya). *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 1(2), 5–8. <https://doi.org/10.36048/jtpii.v1i2.1791>
- Usman, M. K. (2020). *Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang*. 9(2), 52–58.
- Weng, J., Ouyang, D., Yang, X., Chen, M., Zhang, G., & Wang, J. (2020). Optimization of the internal fin in a phase-change-material module for battery thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 167(October 2019), 114698. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114698>
- Zhang, N., Yuan, Y., Cao, X., Du, Y., Zhang, Z., & Gui, Y. (2018). Latent Heat Thermal Energy Storage Systems with Solid–Liquid Phase Change Materials: A Review. *Advanced Engineering Materials*, 20(6), 1–30. <https://doi.org/10.1002/adem.201700753>