

# Pengaruh Penggunaan Lapisan *Phase Change Material* Parafin Grafit Sebagai Pendingin Terhadap Efisiensi Panel Surya *Polycrystalline*

Rovida Camalia Hartantrie<sup>1\*</sup>, Ryann Argadiraksa<sup>2</sup>, I Gede Eka Lesmana<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila

<sup>1,2,3</sup>Jln. Lenteng Agung Raya No.56, RT.1/RW.3, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta, Indonesia

E-mail: rovida.camalia@univpancasila.ac.id<sup>1</sup>, ryann.argd@gmail.com<sup>2</sup>, gdlesmana8@gmail.com<sup>3</sup>

## Abstrak

### Info Naskah:

Naskah masuk: 20 Juni 2022

Direvisi: 13 Juli 2022

Diterima: 22 Juli 2022

Panel surya sebagai PLTS dapat menjadi salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik. Namun, intensitas dan temperatur matahari yang tidak dapat diatur menjadi kendala dalam penggunaan panel surya. Penyerapan sinar matahari secara terus menerus dapat mengakibatkan panel surya over heating. Oleh karena itu dibutuhkan pendingin pada panel surya agar panas yang diserap tidak melebihi kapasitas. Phase Change Material (PCM) parafin grafit merupakan salah satu pendingin panel surya. Panel surya dilapisi dengan PCM paraffin grafit kemudian diukur Voltase, arus dan temperatur kemudian hasil yang didapat dibandingkan dengan panel surya yang tidak dilapisi PCM paraffin grafit. Dari hasil pengujian, didapatkan panel surya yang dilapisi dengan PCM menghasilkan temperatur permukaan lebih rendah 0,1458% dibanding tanpa PCM. Sedangkan efisiensi dan daya yang dihasilkan panel surya yang dilapisi PCM lebih tinggi 19,496 % dan 0,02685% dari panel surya tanpa PCM. Sehingga penggunaan PCM paraffin grafit pada panel surya dapat meningkatkan efisiensinya.

## Abstract

### Keywords:

phase change material;

paraffin graphite;

solar panel polycrystalline.

Solar panels such as PLTS can be an alternative to complete electricity needs. However, the intensity and temperature of the sun that can not be adjusted are an obstacle to the use of solar panels. Continuous absorption of sunlight can cause solar panels to overheat. Therefore, it is necessary to cool the solar panels, therefore the heat absorbed does not exceed the capacity. Phase Change Material (PCM) paraffin graphite is one of the coolants for solar panels. PCM paraffin graphite was used to coat solar panels and then measured for voltage, current, and temperature. The results were compared with solar panels that were not covered with PCM paraffin graphite. The test results found that solar panels coated with PCM produced a lower surface temperature of 0.1458% than those without PCM. Meanwhile, the efficiency and power produced by PCM-coated solar panels were 19.496% and 0.02685% higher than solar panels without PCM, respectively, so the use of PCM paraffin graphite in solar panels can increase their efficiency.

\*Penulis korespondensi:

**Rovida Camalia Hartantrie**

E-mail: rovida.camalia@univpancasila.ac.id

## 1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah pelanggan listrik PLN mengakibatkan kenaikan kebutuhan energi fosil sebagai bahan bakar utama produksi listrik. Berdasarkan buku statistik yang diterbitkan oleh PLN tercatat kenaikan jumlah pelanggan dari tahun 1973-2020 mengalami peningkatan kurang lebih 111,17 %. Peningkatan signifikan terjadi pada tahun 1998-2020 sekitar 198,86 %. Peningkatan jumlah pelanggan PLN berbanding lurus dengan pertumbuhan energi terjual seperti yang terlihat pada tabel 2. Pertumbuhan Energi Terjual PLN dari 1973-2020 mengalami peningkatan rata-rata sebesar 127,06 %. Peningkatan signifikan terjadi pada tahun 1998-2020 sebesar 273,24 % karena pada saat itu Indonesia sedang memasuki fase elektrifikasi di setiap wilayah[1].

Peningkatan jumlah pelanggan mempengaruhi peningkatan produksi listrik oleh PLN sehingga kebutuhan bahan bakar juga ikut meningkat. Disisi lain, cadangan energi fosil Indonesia terbatas dan semakin berkurang akibat konsumsi sumber daya yang tidak terbarukan yang terus berlanjut [2].

Menteri energi dan sumber daya mineral mengeluarkan keputusan nomor: 2 tahun 2004, dalam upaya mewujudkan sistem penyediaan dan pemanfaatan energi yang berkelanjutan dapat ditempuh dengan memadukan konsep optimasi pemanfaatan energi terbarukan[3]. Perlu adanya inovasi untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi berbahan bakar fosil dengan memanfaatkan energi terbarukan yang ada. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan yaitu dengan memanfaatkan energi matahari yang diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya [4].

Indonesia sebagai negara yang berada pada katulistiwa mendapatkan hampir seluruh wilayahnya sinar matahari cukup. Penggunaan teknologi energi surya di Indonesia memiliki potensi penghasil energi listrik yang besar dalam memenuhi kebutuhan masyarakat. Sekitar 2 juta km<sup>2</sup> daratan Indonesia dapat dienuhi energi listrik dari energi surya [2]. Sehingga pembangkit listrik berbasis panel surya memiliki dapat menjadi alternative untuk memenuhi kebutuhan listrik penduduk Indonesia.

Intensitas sinar matahari dan kemampuan panel surya dalam menyerap panas dari radiasi sinar matahari tidak selalu berbanding lurus. Kenaikan temperatur sel surya dapat menurunkan efisiensi panel surya dalam menghasilkan energi listrik [5],[6]. Hal ini mengakibatkan penurunan performa dari panel surya. Untuk menjaga performa panel surya, temperatur sekitar perlu dijaga agar stabil. Salah satu upaya untuk menstabilkan temperatur panel surya yaitu dengan memberi pendingin pada sel surya.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk dapat membuang panas berlebih tersebut. Seperti yang dilakukan oleh S. Nižetić, dkk, menggunakan media air baik itu air laut, air mineral, atau butiran air (*water Spray*) sehingga menghasilkan daya *output* 16,3 % dan kenaikan efisiensi sebesar 14,1 % [7]. Gunawan Rudi Cahyono, dkk, menggunakan udara sebagai media pendingin panel surya, dimana dengan menembakan langsung ke bagian belakang panel surya dengan kecepatan bervariasi yaitu 2, 3, 4 dan 5 m/s untuk menurunkan temperatur panel. Hasil yang

didapat yaitu, peningkatan efisiensi yang sebelumnya 3,014 – 3,134 % menjadi 3,106 – 3,206 % [8]. Penelitian pendinginan panel surya dengan menggunakan air juga telah dilakukan beberapa peneliti, dengan mengalirkan air pada sel surya kemudian dipasang sensor untuk mengukur arus yang dihasilkan dan dibandingkan dengan sel surya yang tidak didinginkan. Sel surya yang diberi pendingin air, mengalami peningkatan daya rata-rata dibandingkan dengan sel surya yang tidak diberi pendingin[5],[9].

Nicholas Tan Jian Wei, dkk, melakukan penelitian pendinginan panel surya menggunakan PCM yang berbasis *Tealights candle*, dalam penelitiannya PCM yang digunakan mampu menurunkan temperatur dengan rata-rata sebesar 5 % [10]. Penelitian lain tentang pendinginan sel surya dengan membandingkan sel surya yang dilapisi lapisan PCM dengan sel surya tanpa lapisan membuktikan bahwa pendinginan dengan PCM dapat meningkatkan efisiensi sel surya[11]–[13]. K Kumar Senthil, dkk, melakukan penelitian menggunakan PCM yang berbasis *Paraffin Wax, copper, silicon carbide* peningkatan *output* listrik panel surya dengan rata-rata 2,8 % dan pada percobaan kedua dengan menggabungkan seluruh PCM meningkatkan *output* daya dengan rata-rata sebesar 4,3 %[14], dan lainnya. Panas yang diserap oleh PCM dapat digunakan kemudian untuk aplikasi lainnya karena prinsipnya PCM dapat menyimpan panas yang diterima[15].

Dari berbagai penelitian yang telah disebutkan pendinginan panel surya terbukti dapat meningkatkan daya *output* dari panel surya. Tetapi pendinginan tersebut bergantung dari berbagai media yang digunakan. Pendinginan panel surya dengan menggunakan PCM sangat dipengaruhi oleh jenis material, komposisi dan ketebalan lapisan yang digunakan pada panel surya tersebut. Dengan jenis dan komposisi yang berbeda akan menghasilkan PCM dengan sifat konduktivitas yang berbeda. Bahan parafin murni memberikan peningkatan 12,1% dalam termal disipasi pipa panas dibandingkan dengan yang tanpa PCM [16]. Penggunaan panel surya *polycrystalline* dilatarbelakangi karena panel surya berjenis ini memiliki performa lebih rendah dari panel surya berjenis *monocrystalline*, tetapi memiliki harga yang lebih murah. Sehingga jika dilakukan peningkatan performa pada panel surya berjenis *polycrystalline* akan mendapatkan panel surya dengan biaya murah tetapi memiliki performa yang baik. Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis akan melakukan penelitian pengaruh PCM *paraffin wax* grafit terhadap perubahan temperatur panel surya *polycrystalline* untuk mengurangi temperatur dalam mengatasi penurunan performa kerja. Sehingga daya dan efisiensi yang dihasilkan dari panel surya akan mengalami peningkatan.

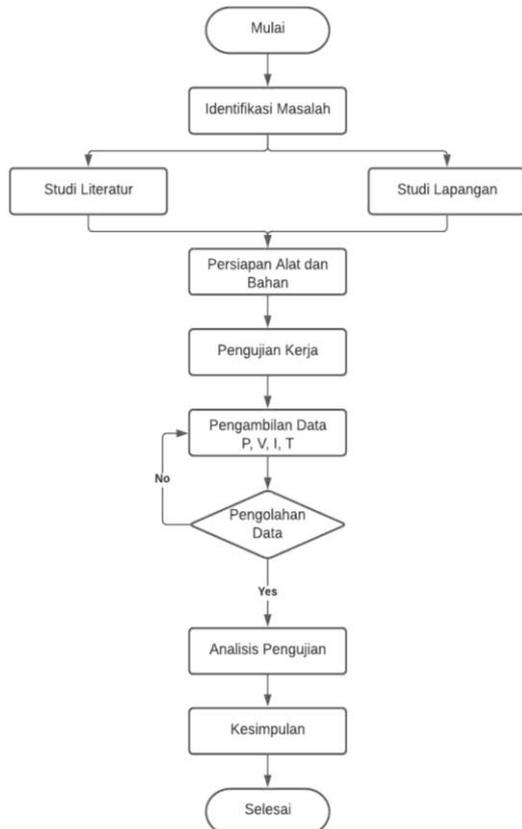
## 2. Metode

### 2.1 Material dan Tahapan Penelitian

Material PCM yang digunakan dalam penelitian ini adalah parafin grafit yang merupakan material komposit dari dua material yaitu, *paraffin wax* dan grafit. *Content* dari masing-masing material yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 80% untuk *Paraffin Wax* dan 20%

untuk *Graphite*. Sementara itu ukuran material PCM yang digunakan yaitu, 665 mm × 540 mm × 4,4 mm.

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya berjenis polycrystalline 50 WP dengan ukuran panel 675 mm × 550 mm × 25 mm sebanyak 2 buah. Daya, maksimum yang dapat diterima sel surya tersebut sebesar 50 W. Tegangan dan arus yang dapat dihasilkan sel surya pada penelitian kali ini yaitu sebesar 50 W dan 2,78 A. Massa sel surya yaitu 3,8 kg dan memiliki efisiensi sekitar 15-17%. Tahapan penelitian dapat dilihat pada *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian yang diusulkan



Gambar 2. Rancangan panel surya polycrystalline parafin grafit

Pada Gambar 2 menunjukkan gambar rancangan dari alat yang akan dilakukan pengujian, alat tersebut adalah panel surya yang telah dimodifikasi. Dimana pada bagian belakangnya telah diaplikasikan atau ditambahkan *paraffin graphite* setebal 4,4 mm sebagai material pendingin. Serta

gambar 3 merupakan gambar lapisan-lapisan dari panel surya *polycrystalline paraffin graphite*.



Gambar 3. Pandangan depan lapisan-lapisan panel surya dengan PCM sebagai pendingin

Lapisan sel surya yang digunakan untuk eksperimen, pertama lapisan berwarna hijau merupakan kaca pelindung, kemudian lapisan kedua terdapat modul sel surya, lapisan ketiga terdapat PCM yakni *Paraffin Graphite* dan lapisan keempat terdapat *Backplate*.

Pengujian kerja dilakukan secara bersamaan antara kedua panel surya *Polycrystalline* tanpa PCM (blanko) dan panel surya *Polycrystalline* yang menggunakan PCM parafin grafit sebagai media pendingin selama 7 hari dengan selang waktu pengambilan data setiap 1 jam.

#### 2.4 Pengolahan Data

Parameter yang akan dihitung menggunakan persamaan daya listrik panel surya (1), faktor susut akibat perubahan temperatur (2) dan efisiensi panel surya (3). Adapun persamaan Daya Panel Surya seperti pada persamaan (1).

$$P_{PV} = P_{PV,STC} \cdot f_{PV} \cdot f_{temp} \left( \frac{I_T}{I_{T,STC}} \right) \quad (1)$$

Dimana,  $P_{PV,STC}$  adalah kapasitas daya panel surya pada kondisi uji baku (kW),  $f_{PV}$  adalah faktor susut (%),  $I_T$  adalah radiasi matahari global yang mengenai permukaan panel surya ( $W/m^2$ ),  $I_{T,STC}$  adalah radiasi pada kondisi uji baku ( $1000 W/m^2$ ), dan  $f_{temp}$  adalah faktor susut akibat perubahan temperatur(%). Faktor Susut Akibat Perubahan Temperatur diperlihatkan pada persamaan (2).

$$f_{temp} = \left[ 1 + \alpha_p \cdot (T_C - T_{C,STC}) \right] \quad (2)$$

Dimana,  $\alpha_p$  adalah koefisien temperatur daya (-0,5 %/°C untuk *polycrystalline* dan -0,46 %/°C untuk *monocrystalline*),  $T_C$  adalah temperatur sel surya (°C), dan  $T_{C,STC}$  adalah temperatur sel surya pada kondisi uji baku (25°C). Persamaan (3) merupakan rumusan untuk menghitung efisiensi panel surya.

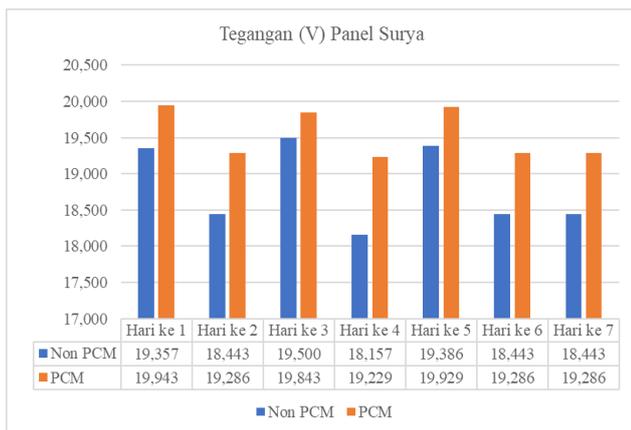
$$\eta_c = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{A_c \cdot I_T} \quad (3)$$

Dimana,  $I_{mp}$  adalah arus yang dihasilkan panel surya (A),  $V_{mp}$  adalah tegangan yang dihasilkan panel surya (V),  $A_c$  adalah luas permukaan panel surya yang beroperasi ( $m^2$ ) dan  $I_T$  adalah radiasi matahari global yang mengenai permukaan panel surya ( $W/m^2$ ).

### 3. Hasil dan Pembahasan

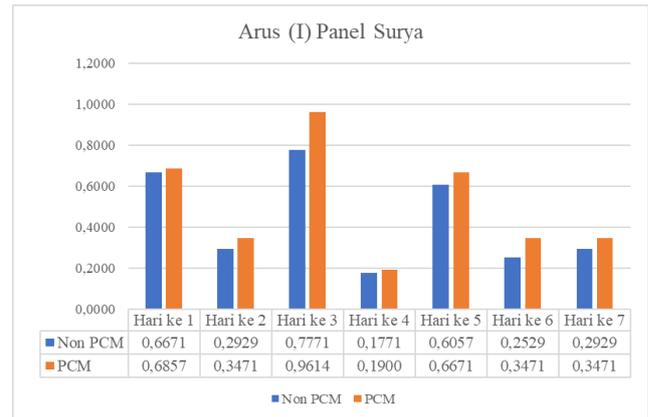
#### 3.1 Hasil Pengujian

Hasil pengujian Panel Surya *Polycrystalline* 50 WP dengan PCM dan Panel Surya *Polycrystalline* 50 WP tanpa PCM didapatkan data tegangan, arus dan temperatur yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan menggunakan data-data tersebut untuk memperoleh faktor susut akibat perubahan temperatur untuk memperoleh besarnya daya dan efisiensi Panel Surya *Polycrystalline* 50 WP dengan PCM dan terakhir akan dilakukan perbandingan performa dengan Panel Surya *Polycrystalline* 50 WP tanpa PCM.

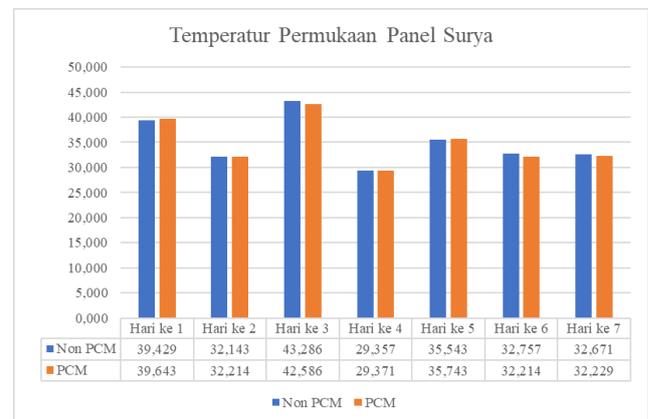


Gambar 4. Diagram Batang Perbandingan Rata-Rata Tegangan Panel Surya Dengan PCM dan Tanpa PCM Perhari

Pada diagram batang tegangan yang disajikan pada gambar 4 terlihat bahwa nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan pada hari ke 1, 3 dan 5 cukup tinggi dikarenakan intensitas matahari yang lebih baik, sedangkan pada hari ke 2, 4, 6 dan 7 intensitas matahari yang ditangkap panel surya kurang maksimal. Dapat terlihat juga pada gambar tersebut nilai rata-rata tegangan setiap harinya memiliki perbedaan yang cukup signifikan antara panel surya dengan PCM dan tanpa PCM. Nilai tegangan tertinggi pada panel surya dengan PCM terjadi pada hari ke 1 sebesar 19,943 V dan terendah pada hari ke 4 19,229 V. Sedangkan pada panel surya tanpa PCM nilai tegangan tertinggi dihasilkan pada hari ke 3 sebesar 19,5 V dan terendahnya pada hari ke 4 sebesar 18,157 V. Sehingga terjadi peningkatan rata-rata tegangan *output* panel surya sebesar 3,849 % untuk panel surya dengan PCM.



Gambar 5. Diagram batang perbandingan rata-rata arus panel surya dengan PCM dan Tanpa PCM Perhari



Gambar 6. Diagram Batang Perbandingan Rata-Rata Temperatur Permukaan Panel Surya PCM dan Tanpa PCM Perhari

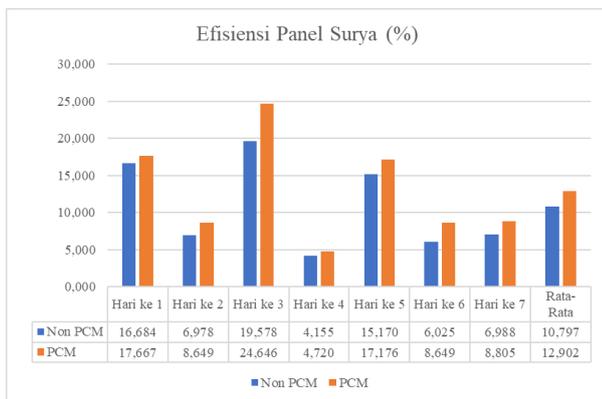
Pada diagram batang arus yang disajikan pada gambar 5 terlihat bahwa nilai rata-rata arus yang dihasilkan panel surya pada hari ke 1, 3 dan 5 jauh lebih dari pada hari ke 2, 4, 6 dan 7 yang diakibatkan panel surya kurang mendapat penyinaran dari matahari akibat cuaca yang berawan. Dapat terlihat juga pada gambar tersebut nilai rata-rata arus yang dihasilkan setiap harinya memiliki perbedaan yang cukup signifikan antara panel surya dengan PCM dan tanpa PCM. Nilai arus tertinggi pada panel surya dengan PCM terjadi pada hari ke 3 sebesar 0,9614 A dan terendah pada hari ke 4 sebesar 0,190 A. Sedangkan pada panel surya tanpa PCM nilai tegangan tertinggi dihasilkan pada hari ke 3 sebesar 0,7771 A dan terendahnya pada hari ke 4 sebesar 0,1771 A. Sehingga terjadi peningkatan rata-rata arus *output* panel surya sebesar 15,8434 % untuk panel surya dengan PCM.

Pada diagram batang temperatur permukaan yang disajikan pada gambar 6 terlihat bahwa nilai rata-rata temperatur permukaan panel surya yang menggunakan PCM pada hari ke 1, 4, 6, dan 7 mengungguli temperatur yang dihasilkan oleh panel surya tanpa PCM, serta terlihat juga pada gambar nilai rata-rata temperatur permukaan panel yang dihasilkan setiap harinya memiliki perbedaan antara panel surya dengan PCM dan tanpa PCM. Nilai temperatur permukaan terendah pada panel surya dengan PCM terjadi pada hari ke 4 sebesar 28,76°C dan tertinggi pada hari ke 3 sebesar 44,34°C. Sedangkan pada panel surya tanpa PCM nilai temperatur permukaan terendah dihasilkan pada hari ke 4 sebesar 29,36°C dan tertingginya

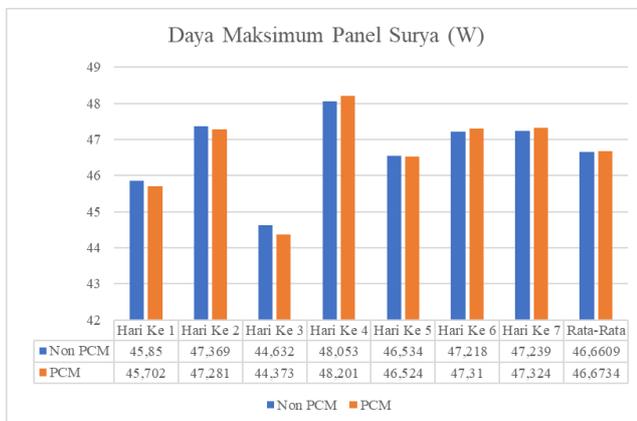
pada hari ke 3 sebesar 43,29°C Sehingga terjadi penurunan temperatur permukaan panel surya sebesar 0,14587 % untuk panel surya dengan PCM. Perbedaan temperatur ini terpengaruhi oleh penggunaan PCM parafin grafit pada panel surya, dimana sesuai dengan karakteristik grafit pada tabel 2.1 yang memiliki konduktivitas tinggi sebesar 5000 W/mK. Sehingga dalam penyerapan dan pelepasan panasnya menjadi lebih baik.

### 3.2 Hasil Analisis

Besaran nilai faktor susut akibat perubahan temperatur, daya dan efisiensi panel surya *polycrystalline* 50 WP dengan PCM dan panel surya *polycrystalline* 50 WP tanpa PCM, dapat diketahui dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 1, 2, dan 3.



Gambar 7. Diagram Perbandingan Efisiensi Panel Surya PCM dan Tanpa PCM



Gambar 8. Diagram Batang Perbandingan Daya Maksimum Panel Surya PCM dan Tanpa PCM

Dapat dilihat dari diagram batang yang disajikan pada gambar 7 yang menunjukkan perbandingan efisiensi panel surya dengan PCM dan tanpa PCM. Pada hari ke 2, 4, 6 dan 7 kondisi langit pada lokasi pengujian berawan dan mendung, efisiensi yang dihasilkan panel surya dengan PCM mengungguli panel surya tanpa PCM dengan rata-rata yang cukup signifikan. Sementara itu pada hari ke 1, 3 dan 5 dengan intensitas matahari yang lebih tinggi, panel surya dengan PCM dapat juga mengungguli panel surya tanpa PCM. Efisiensi rata-rata panel surya selama 7 hari pengujian dapat dilihat pada diagram diatas, panel surya

yang menggunakan PCM parafin grafit dapat menghasilkan efisiensi sebesar 12,902 % dari yang sebelumnya tanpa menggunakan PCM yaitu sebesar 10,797 %, sehingga terdapat peningkatan efisiensi sebesar 19,496 % yang dikarenakan penggunaan PCM parafin grafit pada panel surya *polycrystalline*. Dengan demikian penggunaan PCM parafin grafit dapat membantu meningkatkan efisiensi panel surya.

Dapat dilihat dari diagram batang yang disajikan pada gambar 8 menunjukkan perbandingan daya maksimum panel surya dengan PCM dan tanpa PCM. Pada hari ke 2, 4, 6 dan 7 kondisi langit pada lokasi pengujian berawan dan mendung menyebabkan faktor susut akibat perubahan temperatur lebih tinggi, sehingga daya maksimum yang dihasilkan dengan nilai faktor susut akibat perubahan temperatur pada kondisi tersebut akan lebih tinggi. Pada hari ke 1, 3 dan 5 kondisi langit pada lokasi pengujian sedikit berawan menyebabkan panel surya memiliki nilai faktor susut akibat perubahan temperatur lebih rendah, sehingga daya maksimum yang dihasilkan jika faktor susut akibat perubahan temperatur pada kondisi tersebut akan bernilai lebih rendah.

Dalam mendapatkan hasil daya maksimum ini faktor yang mempengaruhi yaitu, kapasitas daya panel surya pada kondisi uji baku, faktor susut akibat rangkaian kabel, kotoran dan penuaan, intensitas radiasi cahaya matahari dan faktor susut akibat perubahan temperatur pada panel surya, sehingga dengan menggunakan persamaan 2.1 didapatkan rata-rata daya maksimum yang mampu dikeluarkan oleh panel surya dengan PCM yaitu sebesar 46,6734 W sedangkan panel surya tanpa PCM sebesar 46,6609 W. Dari hasil tersebut terbukti panel surya yang menggunakan PCM parafin grafit sebagai media pendingin dapat meningkatkan daya maksimum yang dikeluarkan panel surya sebesar 0,02685 %, karena faktor susut yang lebih tinggi yang dihasilkan oleh panel surya dengan menggunakan PCM.

## 4. Kesimpulan

Penggunaan Phase Change Material (PCM) parafin grafit dengan dimensi 665mm × 540mm × 4,4 mm dan *content paraffin wax* 80% dan *Graphite* 20% sebagai media pendingin panel surya *polycrystalline* 50 WP dalam penelitian ini, mampu meningkatkan output tegangan sebesar 3,849% dan mampu menurunkan temperature pada permukaan depan panel surya 0,14587% sehingga terjadi peningkatan daya maksimum sebesar 0,02685% serta peningkatan efisiensi sebesar 19,498%.

## Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaikan kepada Lab. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila yang telah mendukung penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] S. P. PT. PLN (Persero), "01001 - 210621," 2021.
- [2] R. Hasrul *et al.*, "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif," vol. 5, no. 9, pp. 79–87, 2021.
- [3] P. M. E. N. 2 T. 2004, "Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Pengembangan Energi Hijau)," 2004.

- [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] R. R. S. Saputra, Eqwar, purwanto dwi, "Peningkatan Panel Surya Dengan Sistem Pendingin Untuk Mereduksi Panas Permukaan," *J. Media Mesin*, vol. 23, no. 1, pp. 28–35, 2021.
- [6] G. R. Cahyono, P. R. Ansyah, and N. Q. Awaly, "Pendinginan panel surya menggunakan kotak pendingin dan sirip pendingin," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 73–79, 2021, doi: 10.28989/angkasa.v13i1.947.
- [7] S. Nizetić, D. Čoko, A. Yadav, and F. Grubišić-Čabo, "Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response," *Energy Convers. Manag.*, vol. 108, no. March 2017, pp. 287–296, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.10.079.
- [8] 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.
- [9] M. P. Putra and R. W. Arsianti, "Sistem Pendingin Menggunakan Air Untuk Optimasi Kinerja Panel Surya Berbasis Arduino," *J-Eltrik*, 2021, [Online]. Available: <https://eltrik.hangtuah.ac.id/index.php/jurnal/article/view/64%0Ahttps://eltrik.hangtuah.ac.id/index.php/jurnal/article/download/64/56>
- [10] N. Tan Jian Wei, W. Jian Nan, and C. Guiping, "Experimental study of efficiency of solar panel by phase change material cooling," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 217, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/217/1/012011.
- [11] D. B. Seto, B. Kristiawan, Ubaidillah, and Z. Arifin, "Solar Cell Cooling with Phase Change Material (PCM) for Enhanced Efficiency: A Review," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1096, no. 1, p. 012052, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1096/1/012052.
- [12] S. Kiwan, H. Ahmad, A. Alkhalidi, W. O. Wahib, and W. Al-Kouz, "Photovoltaic Cooling Utilizing Phase Change Materials," *E3S Web Conf.*, vol. 160, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202016002004.
- [13] M. Sharaf, A. S. Huzayyin, and M. S. Yousef, "Performance enhancement of photovoltaic cells using phase change material (PCM) in winter," *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 6, pp. 4229–4239, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.09.044.
- [14] K. S. Kumar, S. Revanth, D. Sanjeev, P. S. Kumar, and P. Surya, "Experimental investigation of improving the energy conversion efficiency of PV cell by integrating with PCM," *Mater. Today Proc.*, vol. 37, no. Part 2, pp. 712–716, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.723.
- [15] P. R. Ansyah, J. Waluyo, Suhanan, M. Najib, and F. Anggara, "Thermal behavior of melting paraffin wax process in cylindrical capsule by experimental study," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2001, 2018, doi: 10.1063/1.5049968.
- [16] J. Wang, Y. Li, Y. Wang, L. Yang, X. Kong, and B. Sundén, "Experimental investigation of heat transfer performance of a heat pipe combined with thermal energy storage materials of CuO-paraffin nanocomposites," *Sol. Energy*, vol. 211, no. October, pp. 928–937, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.10.033