

## Peningkatan Kinerja Sistem Pendingin TEC pada Kotak Pendingin Bertenaga Surya Menggunakan PCM Larutan Eutektik NaCl-H<sub>2</sub>O

Acep Saputra<sup>1</sup>, Rifky<sup>2\*</sup>, Ade Irza Fahrezi<sup>3</sup>, Muhammad Imam Sobirin<sup>4</sup>, Dimas Priyuko Tri Asmoro<sup>5</sup>

Email corresponding author: rifky@uhamka.ac.id

<sup>1,2,3,4,5</sup> Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Indonesia

Article history: Received: 1 Agustus 2024 | Revised: 24 November 2024 | Accepted: 25 November 2024

**Abstract.** Solar energy is an energy source that is always available, does not cause pollution and does not damage the environment. The current use of cooling system devices still uses refrigerants. The disadvantage of refrigerants is that they use materials that have negative effects on the environment. This research provides an alternative solution to environmental problems caused by the use of a refrigerant cooling system, namely a solar-powered thermoelectric cooling system with PCM eutectic NaCl-H<sub>2</sub>O solution. This research aims to determine the effect of the NaCl-H<sub>2</sub>O eutectic solution to improve the performance of the cooling system in the cooling box. This system uses two TEC modules, a heatsink, and a fan to optimize heat dissipation and even temperature distribution in the cooling box. The test results show that the use of PCM with 5% NaCl in the cooling system produces the lowest room temperature of 17,2°C, and the highest performance coefficient of 0.092. The higher concentration of NaCl in the H<sub>2</sub>O solution increases the thermal conductivity value and lowers the freezing point, thus affecting the minimum temperature and increasing the cooling system performance coefficient.

**Keywords** -Energy; Cooler; Phase change material

**Abstrak.** Energi matahari adalah sumber energi yang selalu tersedia, tidak menimbulkan polusi dan tidak merusak lingkungan. Penggunaan perangkat sistem pendingin saat ini masih menggunakan refrigeran. Kekurangan yang dimiliki refrigeran yaitu menggunakan bahan yang sifatnya menimbulkan efek buruk terhadap lingkungan. Penelitian ini memberikan solusi alternatif untuk permasalahan lingkungan yang disebabkan penggunaan sistem pendingin refrigeran, yaitu sistem pendingin termoelektrik bertenaga surya dengan PCM larutan eutektik NaCl-H<sub>2</sub>O. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh larutan eutektik NaCl-H<sub>2</sub>O untuk meningkatkan kinerja sistem pendingin pada kotak pendingin. Sistem ini menggunakan dua modul TEC, heatsink, dan kipas untuk mengoptimalkan pembuangan panas dan pemerataan suhu pada kotak pendingin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan PCM dengan 5% NaCl dalam sistem pendingin menghasilkan temperature ruang terendah sebesar 17,2°C, dan koefisien kinerja tertinggi sebesar 0,031. Semakin tinggi konsentrasi NaCl dalam larutan H<sub>2</sub>O meningkatkan nilai konduktivitas termal dan menurunkan titik beku, sehingga mempengaruhi temperatur minimum dan meningkatkan koefisien kinerja sistem pendingin.

**Kata Kunci** - Energi; Pendingin; Pphase change material

### PENDAHULUAN

Energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang banyak terdapat di alam dan tidak terbatas meskipun digunakan secara berkelanjutan [1]. Energi terbarukan saat ini dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia seperti pemanfaatan air, angin, dan matahari untuk diubah menjadi bentuk lain [2]. Salah satu jenis energi terbarukan adalah energi matahari. Energi matahari adalah sumber energi yang selalu tersedia dan selain itu juga energi ini tidak menimbulkan polusi dan tidak merusak lingkungan [3]. Energi matahari juga dapat dimanfaatkan masyarakat sebagai energi alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya dimana radiasi sinar matahari diubah menjadi energi listrik [4]. Panel surya dapat diintegrasikan dengan pendingin termoelektrik, sehingga kedua konverter energi tersebut mengubah energi matahari menjadi listrik dan listriknya dimanfaatkan untuk menghasilkan kondisi pendinginan. Berdasarkan penggunaannya modul termoelektrik dapat digunakan sebagai *Thermoelectric Generator* (TEG) dan *Thermoelectric Cooler* (TEC) [5].

Perbedaan diantara keduanya adalah TEG yang menghasilkan listrik dari perbedaan suhu, sementara efek Peltier adalah prinsip dari TEC yang dapat mendinginkan atau memanaskan dengan memberikan arus listrik pada termoelektrik [6].

*Thermoelectric Cooler* (TEC) merupakan komponen yang memanfaatkan bahan padat dan efek termoelektrik dapat menghasilkan suatu sisi menjadi dingin dan sisi lainnya menjadi panas jika dialiri oleh arus listrik. Temperatur pada titik pertemuan dua material berbeda dipengaruhi oleh arah dari arus listrik yang masuk ke perangkat TEC [7].

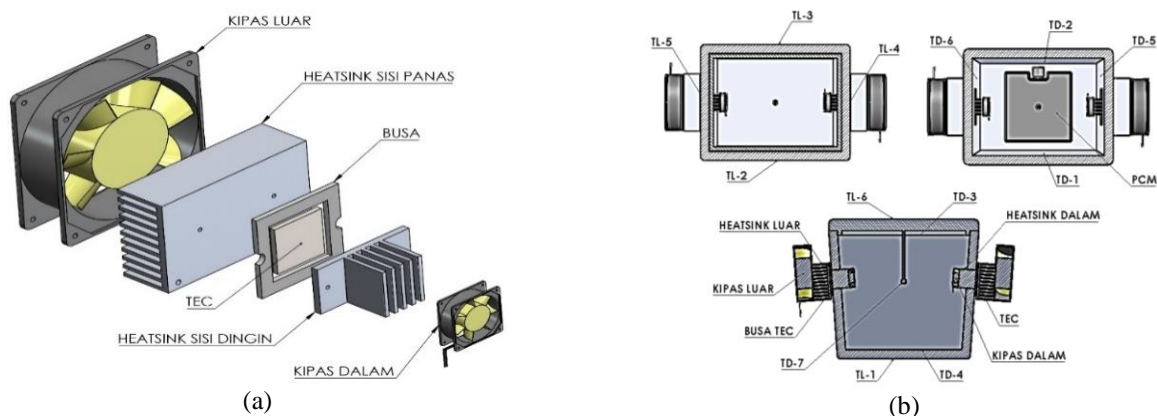
Penggunaan sistem pendingin termoelektrik merupakan alternatif untuk mengatasi masalah refrigeran [8]. Pemanfaatan sistem pendingin termoelektrik mempunyai kelebihan yaitu tidak menggunakan refrigeran, sehingga tidak mempunyai potensi merusak lapisan ozon [9]. Oleh karena itu diperlukan sistem pendingin termoelektrik bertenaga surya dengan *phase change material* (PCM) untuk mempercepat pendinginan pada ruang kotak pendingin.

*Phase change material* memiliki potensi besar untuk aplikasi penyimpanan termal dengan kemampuan untuk menyerap dan melepaskan termal selama proses perubahan fase. Pada Saat suhu PCM mengalami penurunan PCM melepaskan termal yang disimpan untuk membantu dalam menjaga suhu ruang tetap stabil. Dengan demikian penggunaan PCM dapat meningkatkan efisiensi sistem pendingin dengan memanfaatkan kemampuannya untuk menyimpan dan melepaskan termal sesuai dengan perubahan suhu lingkungan [10]. PCM secara garis besar terbagi atas tiga kategori, yaitu organik, inorganik, eutektik [11]. Pada penelitian ini menggunakan PCM berbahan larutan NaCl-H<sub>2</sub>O karena dapat menstabilkan suhu ruang dengan menyerap atau melepaskan kalor secara efisien. Selain itu, *phase change material* NaCl-H<sub>2</sub>O dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem pendingin dengan memanfaatkan sifat termofisiknya, perubah fasa NaCl-H<sub>2</sub>O juga memiliki konduktivitas termal dan densitas yang baik untuk mempengaruhi laju perpindahan kalor [12], [13].

Beberapa penelitian tentang termoelektrik telah banyak digunakan seperti kotak pendingin medis [14], sistem pendingin kabin mobil [15], kotak pendingin minuman [16], pendingin portabel untuk air susu ibu [17], dan kotak pendingin buah-sayur [18]. Pendingin termoelektrik pada penelitian ini ditambahkan dengan *phase change material* larutan eutektik NaCl-H<sub>2</sub>O di dalamnya, sehingga diharapkan dapat mempercepat laju pendinginan ruang sistem pendingin dan menahan kondisi dingin waktu yang lebih lama. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh PCM larutan eutektik NaCl-H<sub>2</sub>O terhadap koefisien kinerja sistem pendingin dan pencapaian temperatur minimum ruang pendingin.

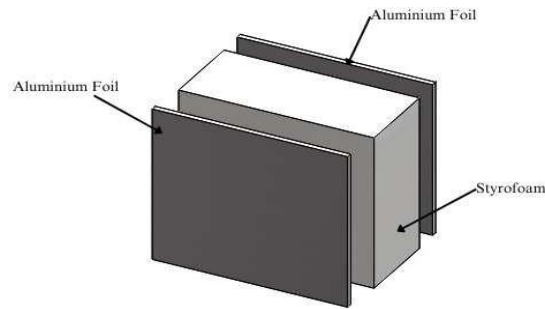
## METODE

Pengujian dilakukan pada kotak *styrofoam* yang berukuran 34cm x 25cm x 30cm, menggunakan modul surya *polycrystalline* 50 Wp, dua modul termoelektrik yang disusun seri diapit dengan dua buah heatsink yang ditambahkan kipas pada sisi panas agar kalor terbuang dan kipas pada sisi dingin agar pendinginan dapat merata di dalam ruang pendingin. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui pengaruh *phase change material* larutan eutektik NaCl-H<sub>2</sub>O terhadap koefisien kinerja sistem pendingin dan pencapaian temperatur minimum ruang pendingin. Pada penelitian ini memvariasikan empat kotak pendingin yaitu kotak pendingin yang tidak menggunakan PCM, kotak pendingin yang menggunakan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O dengan komposisi 1%, kotak pendingin yang menggunakan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O dengan komposisi 3%, kotak pendingin yang menggunakan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O dengan komposisi 5%. Desain kotak pendingin dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



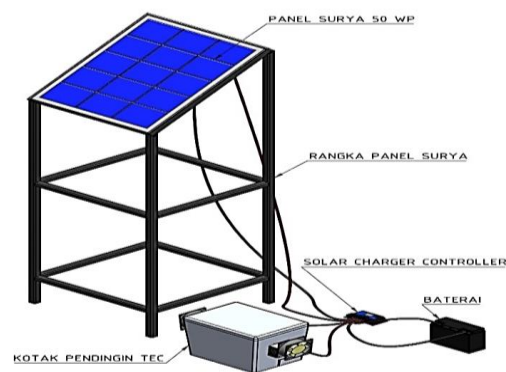
**Gambar 2.** (a) Rangkaian pendingin termoelektrik, (b) Desain kotak pendingin termoelektrik

Pada dinding kanan dan kiri memiliki luas yang berbeda dengan dinding lainnya. Hal ini dikarenakan terpotong luas heatsink yang dipakai pada kotak pendingin, sehingga luasnya berbeda dengan dinding lainnya. Material pelapis kotak pendingin terdapat pada gambar 3 yang terdiri aluminium foil bagian dalam, styrofoam, dan aluminium foil bagian luar.



**Gambar 3.** Lapisan dinding kotak pendingin

Material yang digunakan sebagai pelapis pada kotak pendingin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai konduktivitas termal ( $k$ ) aluminium foil sebesar 0,038 W/m.k, dan *styrofoam* sebesar 0,33 W/m.k [19], [20]. Alat yang digunakan pada penelitian ini digambarkan pada skema gambar 4 di bawah ini.



**Gambar 4.** Rangkaian sistem pendingin termoelektrik

Pada Gambar 4, modul surya disambungkan ke watt meter sebagai pemantau daya listrik yang diberikan, lalu dihubungkan ke SCC. SCC digunakan untuk mengatur arus beban dan mengatur pengisian aki/baterai. Setelah itu, arus yang diatur SCC diberikan ke beban TEC melalui watt meter.

PCM NaCl-H<sub>2</sub>O untuk menyerap kalor agar mempercepat pendinginan. Berikut tabel 1 dari komposisi larutan PCM NaCl dan H<sub>2</sub>O dengan kapasitas 500 gram.

**Tabel 1.** Komposisi larutan PCM NaCl dan H<sub>2</sub>O

Larutan eutektik NaCl-H <sub>2</sub> O [gram]		
Komposisi	NaCl	H <sub>2</sub> O
1% NaCl-H <sub>2</sub> O	5	495
3% NaCl-H <sub>2</sub> O	15	485
5% NaCl-H <sub>2</sub> O	25	475

Perpindahan kalor pada kotak pendingin termoelektrik terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Perpindahan panas konduksi merupakan proses dimana panas berpindah dari satu bagian benda ke bagian lain, atau antara dua benda yang bersentuhan, tanpa perpindahan massa [21]. Perpindahan panas konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi karena adanya gerakan atau aliran fluida yang membawa panas dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah [22].

Konveksi paksa merupakan proses perpindahan panas di mana fluida dipaksa bergerak melalui penggunaan sumber eksternal seperti kipas, pompa, atau perangkat hisap. Sementara konveksi bebas merupakan proses perpindahan panas yang terjadi ketika perbedaan densitas dalam fluida disebabkan oleh gradien suhu, tanpa bantuan sumber eksternal [23]. Ada empat bilangan tak berdimensi yang berkaitan dengan perpindahan panas secara konveksi, yaitu bilangan Prandtl (Pr), bilangan Nusselt (Nu), bilangan Grashof (Gr), dan bilangan Rayleigh (Ra). Bilangan Nusselt dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [15].

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad (1)$$

Pada konveksi bebas berlaku persamaan di bawah ini [15].

$$Gr_x = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_w - T_\infty) \cdot x^3}{\nu^2} \quad (2)$$

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} \quad (3)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (4)$$

Sementara itu, dua persamaan yang memakai nilai Ra sebagai rentangnya dapat digunakan untuk menghitung konveksi bebas dari plat vertikal. Persamaan tersebut antara lain [15].

$$\overline{Nu} = 0,68 + \frac{0,670 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \text{ untuk } Ra_L < 10^9 \quad (5)$$

$$\overline{Nu} = 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \text{ untuk } 10^9 < Ra_L < 10^{12} \quad (6)$$

Adapun konveksi paksa dimana aliran pada konveksi paksa diatur oleh bilangan Reynolds tak berdimensi. Bilangan ini menggambarkan perbandingan antara gaya inersia dan gaya viskositas yang mempengaruhi fluida. Bilangan Reynolds pada konveksi paksa dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini [24].

$$Re = \frac{\text{Inertia Forces}}{\text{Viscous}} = \frac{\rho V L_c}{\mu} = \frac{V L_c}{\nu} \quad (7)$$

Untuk menghitung nilai bilangan Nusselt (Nu) pada konveksi paksa yang terjadi pada sebuah plat vertikal dapat menggunakan persamaan di bawah ini [24].

*Laminar*

$$Nu \frac{hL}{k} = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3} \rightarrow Re < 5 \times 10^5, Pr > 0,6 \quad (8)$$

*Turbulent*

$$Nu \frac{hL}{k} = 0,037 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \rightarrow 5 \times 10^5 \leq Re \leq 10^7, 0,6 \leq Pr \leq 60 \quad (9)$$

Pada perhitungan konveksi perlu diketahui karakteristik udara agar perhitungan sesuai dengan aliran yang diterima [25].

Beban kalor yang hilang yaitu jumlah kalor yang keluar dari suatu ruang pendingin akibat perbedaan temperatur. Kalor yang hilang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [15].

$$q_1 = \frac{T_\infty - T_w}{\left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_A + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_B + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_C} \quad (10)$$

Beban kalor transmisi disebabkan oleh perpindahan panas konduksi dan konveksi pada dinding-dinding ruang pendingin. Beban transmisi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [26].

$$q_2 = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (11)$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas total yang terjadi pada ruang pendingin, digunakan persamaan berikut [26].

$$U = \frac{1}{\left[ \frac{1}{h_{in}} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + \frac{1}{h_{out}} \right]} \quad (12)$$

Total beban kalor pendingin didapatkan dengan menjumlahkan kalor yang hilang dan beban kalor transmisi yang terjadi di kotak pendingin. Untuk menghitung beban kalor pendingin dapat menggunakan persamaan berikut [27].

$$q_c = q_1 + q_2 \quad (13)$$

Koefisien kinerja (COP) adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi suatu sistem pendingin. COP dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [15].

$$COP = \frac{q_c}{p_{in}} \quad (14)$$

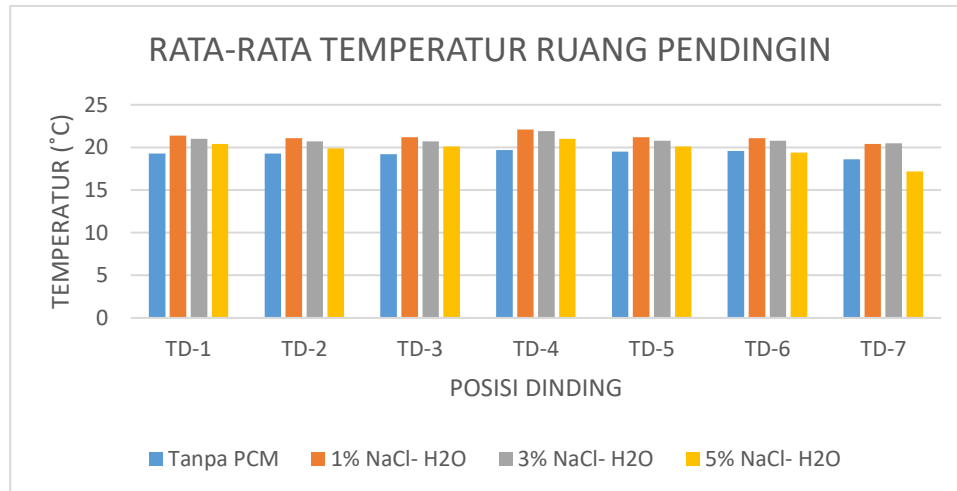
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengujian dan perhitungan dilakukan pada kotak pendingin yang tidak menggunakan PCM, kotak pendingin yang menggunakan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O dengan komposisi 1%, kotak pendingin yang menggunakan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O dengan komposisi 3%, kotak pendingin yang menggunakan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O dengan komposisi 5%. Rata-rata temperatur ruang pendingin pada kotak pendingin tanpa PCM dan dengan variasi PCM NaCl (1%, 3%, dan 5%) selama tiga hari disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 5. Data rata-rata temperatur ruang kotak pendingin yang tanpa PCM, NaCl 1% sebagai PCM, NaCl 3% sebagai PCM, NaCl 5% sebagai PCM dapat di lihat pada Tabel 4-8 di bawah ini.

**Tabel 2.** Rata-rata temperatur pada kotak pendingin selama tiga hari

Rata-rata Temperatur Minimum Ruang Kotak Pendingin					
No	Posisi	Temperatur minimum dalam pada kotak pendingin			
		Tanpa PCM	1% NaCl	3% NaCl	5% NaCl
1	TD-1	19,3	21,4	21	20,4
2	TD-2	19,3	21,1	20,7	19,9
3	TD-3	19,2	21,2	20,7	20,1
4	TD-4	19,7	22,1	21,9	21
5	TD-5	19,5	21,2	20,8	20,1
6	TD-6	19,6	21,1	20,8	19,4
7	TD-7	18,6	20,4	20,5	17,2

Adapun grafik hasil pengukuran rata-rata temperatur minimum ruang kotak pendingin dapat di lihat pada gambar 5 di bawah ini.



**Gambar 5.** Temperatur minimum kotak pendingin selama tiga hari

Berdasarkan Gambar 5 di atas menunjukkan perubahan temperatur dalam minimum pada kotak pendingin yang tanpa menggunakan PCM, kotak pendingin yang menggunakan PCM dengan komposisi NaCl 1%, kotak pendingin yang menggunakan PCM dengan komposisi NaCl 3%, kotak pendingin yang menggunakan PCM dengan komposisi NaCl 5%. Pola grafik temperatur minimum setiap dinding dalam kotak pendingin mengalami kecenderungan menurun, tetapi terdapat perbedaan pada setiap kotak pendingin. Penurunan temperatur yang paling signifikan terdapat pada kotak pendingin dengan menggunakan PCM dengan komposisi NaCl 5% yang mendapatkan temperatur minimum sebesar 17,2°C. Hal ini dikarenakan PCM dengan komposisi NaCl 5% memiliki nilai konduktivitas termal dan panas laten yang lebih tinggi, sehingga saat kotak pendingin mengalami penurunan temperatur, PCM akan melepaskan kalor yang diserap sehingga dapat menjaga temperatur tetap stabil dan tidak mengalami penurunan secara drastis [13]. Sementara itu kotak pendingin yang menggunakan PCM dengan komposisi NaCl 1%, dan kotak pendingin yang menggunakan PCM dengan komposisi NaCl 3% mendapatkan temperatur dalam lebih tinggi dibandingkan dengan kotak pendingin yang tanpa menggunakan PCM, hal ini dikarenakan temperatur luar yang lebih tinggi sehingga mempengaruhi temperatur ruang pendingin [7].

Perhitungan daya masukan panel surya pada sistem pendingin selama tiga hari di lihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Daya masukan panel surya pada sistem pendingin selama tiga hari

Variabel	Notasi	Rata-rata daya masukan ke sistem pendingin			
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Rata-rata
Tanpa PCM	$P_{in}$ [W]	2.845	3.131	3.365	3.114
1% NaCl	$P_{in}$ [W]	2.845	3.131	3.365	3.114
3% NaCl	$P_{in}$ [W]	2.845	3.131	3.365	3.114
5% NaCl	$P_{in}$ [W]	2.845	3.131	3.365	3.114

Pada tabel rata-rata masukan panel surya selama tiga hari memiliki kecenderungan data yang meningkat. Akibat intensitas cahaya matahari selama penelitian menyebabkan perubahan daya masukan menjadi meningkat. Intensitas cahaya matahari yang tinggi dapat meningkatkan kinerja sel surya dalam menghasilkan energi listrik [28].

Perhitungan kalor yang hilang pada sistem pendingin selama tiga hari di lihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kalor yang hilang pada sistem pendingin selama tiga hari

Variabel	Notasi	Kalor yang hilang pada sistem pendingin			
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	RATA-RATA
<b>Tanpa PCM</b>	$q_1$ [W]	72,20	60,24	65,22	65,89
<b>1% NaCl</b>	$q_1$ [W]	64,21	53,41	48,38	55,33
<b>3% NaCl</b>	$q_1$ [W]	59,29	50,77	54,26	54,77
<b>5% NaCl</b>	$q_1$ [W]	78,40	65,75	73,42	72,52

Dari tabel tersebut rata-rata terbesar pada kotak pendingin dengan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O 5% didapatkan dengan kalor yang hilang sebesar 72,52 W, bahwa penambahan NaCl sebagai PCM dalam sistem pendingin mempengaruhi jumlah kalor yang hilang. Konsentrasi NaCl yang lebih tinggi cenderung mengurangi kehilangan kalor, menunjukkan bahwa NaCl dapat meningkatkan kapasitas retensi termal PCM dalam sistem pendingin [23].

Perhitungan kalor transmisi pada sistem pendingin selama tiga hari di lihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Kalor transmisi pada sistem pendingin selama tiga hari

PERHITUNGAN KALOR TRANSMISI [W]			
Variabel	Hari	Hasil $q_2$	Rata-rata
<b>Tanpa PCM</b>	Hari 1	26,793	
	Hari 2	21,451	24,023
	Hari 3	23,824	
<b>1% NaCl</b>	Hari 1	24,718	
	Hari 2	21,095	21,280
	Hari 3	18,026	
<b>3% NaCl</b>	Hari 1	24,631	
	Hari 2	20,201	20,928
	Hari 3	17,952	
<b>5% NaCl</b>	Hari 1	27,393	
	Hari 2	21,367	23,085
	Hari 3	20,496	

Pada tabel tersebut terlihat bahwa penggunaan PCM NaCl-H<sub>2</sub>O dapat mengurangi kalor transmisi pada kotak pendingin. Konsentrasi 3% dari PCM NaCl-H<sub>2</sub>O efektif dalam menurunkan kalor transmisi. Penggunaan konsentrasi 3% memberikan hasil yang baik dalam hal pengurangan kalor transmisi, menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dalam menyimpan energi dan mengurangi kehilangan kalor. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaCl dapat meningkatkan kemampuan material dalam menyerap dan menyimpan energi termal, sehingga mengurangi kehilangan panas yang terjadi selama proses pendinginan [26].

Perhitungan beban kalor keseluruhan pada sistem pendingin selama tiga hari dapat di lihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Beban kalor keseluruhan pada kotak pendingin selama tiga hari

<b>PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN [W]</b>			
<b>Variabel</b>	<b>Hari</b>	<b>Hasil <math>q_c</math></b>	<b>Rata-rata</b>
<b>Tanpa PCM</b>	Hari 1	99,00	89,91
	Hari 2	81,69	
	Hari 3	89,04	
<b>1% NaCl</b>	Hari 1	88,93	76,62
	Hari 2	74,51	
	Hari 3	66,41	
<b>3% NaCl</b>	Hari 1	83,92	75,70
	Hari 2	70,97	
	Hari 3	72,21	
<b>5% NaCl</b>	Hari 1	105,79	95,61
	Hari 2	87,11	
	Hari 3	93,92	

Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa penggunaan NaCl-H<sub>2</sub>O dapat mengurangi beban pendingin pada kotak pendingin. Konsentrasi 3% dari PCM NaCl-H<sub>2</sub>O efektif dalam menurunkan beban pendingin. Hal ini dikarenakan penggunaan larutan NaCl sebagai PCM dapat meningkatkan efisiensi penyimpanan energi dan mengurangi kebutuhan energi untuk menjaga suhu dingin [27].

Perhitungan koefisien kinerja system pendingin termoelektrik dapat di lihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Koefisien kinerja (COP) sistem pada keseluruhan kotak pendingin selama tiga hari

<b>PERHITUNGAN COP</b>			
<b>Variabel</b>	<b>Hari</b>	<b>Hasil COP</b>	<b>Rata-rata</b>
<b>Tanpa PCM</b>	Hari 1	0.035	0.029
	Hari 2	0.026	
	Hari 3	0.027	
<b>1% NaCl</b>	Hari 1	0.031	0.025
	Hari 2	0.024	
	Hari 3	0.020	
<b>3% NaCl</b>	Hari 1	0.030	0.025
	Hari 2	0.023	
	Hari 3	0.022	
<b>5% NaCl</b>	Hari 1	0.037	0.031
	Hari 2	0.028	
	Hari 3	0.028	



Pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai rata-rata koefisien kinerja tertinggi terdapat pada kotak pendingin dengan menggunakan PCM NaCl 5%. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi NaCl dalam larutan H<sub>2</sub>O meningkatkan nilai konduktivitas termal dan menurunkan titik beku. Dampaknya, koefisien kinerja sistem pendingin dapat meningkat karena kemampuannya dalam menyerap dan melepaskan termal yang pada akhirnya menurunkan temperatur [29].

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa dengan menambahkan PCM berpengaruh terhadap pencapaian temperatur ruang kotak pendingin, karena PCM mempercepat penurunan suhu ruang pada kotak pendingin dan menjaga suhu ruang pada kotak pendingin tetap stabil. Temperatur ruang pendingin minimum yang didapatkan pada kotak pendingin dengan PCM NaCl 5% sebesar 17,2°C. Sedangkan koefisien kinerja sistem pendingin paling tinggi didapatkan pada kotak pendingin dengan PCM NaCl 5% sebesar 0,031. Pada penelitian ini PCM NaCl 5% paling tepat digunakan sebagai PCM. Hal ini disebabkan oleh peningkatan konsentrasi NaCl dalam larutan H<sub>2</sub>O yang meningkatkan nilai konduktivitas termal dan menurunkan titik beku. Dampaknya, koefisien kinerja sistem pendingin dapat ditingkatkan karena kemampuannya dalam menyerap dan melepaskan panas, sehingga dapat mempengaruhi temperatur minimum dan meningkatkan koefisien kinerja sistem pendingin. Oleh karena itu, PCM berperan dalam menjaga temperatur tetap stabil dan menurunkan temperatur.

## REFERENSI

- [1] Mammadov, G. N.A., and Aliyeva G.A., "Role of Renewable Energy Sources in the World," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 2, no. 2, p. 63, 2022, doi: 10.29103/jreec.v2i2.8779.
- [2] T. Ang, M. Salem, M. Kamarol, H. Shekhar, M. Alhuyi, and N. Prabakaran, "A Comprehensive Study Of Renewable Energy Sources : Classifications , Challenges and Suggestions," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 43, no. November 2021, p. 100939, 2022, doi: 10.1016/j.esr.2022.100939.
- [3] M. Kamal *et al.*, "Science of the Total Environment Environmental Impacts Of Solar Energy Systems : A Review," *Sci. Total Environ.*, vol. 754, p. 141989, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141989.
- [4] K. N. Nwaigwe, P. Mutabilwa, and E. Dintwa, "An Overview Of Solar Power ( PV systems ) Integration Into Electricity Grids," *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 629–633, 2019, doi: 10.1016/j.mset.2019.07.002.
- [5] S. S. Khode, P. Kale, and C. Gandhile, "Review on Application of Thermoelectric Peltier Module in cooling and power generating Technology," no. 1, pp. 71–74, 2015.
- [6] M. Hamid Elsheikh *et al.*, "A Review On Thermoelectric Renewable Energy: Principle Parameters That Affect Their Performance," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 337–355, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.10.027.
- [7] M. Mirmanto, S. Syahrul, and Y. Wirdan, "Experimental Performances Of A Thermoelectric Cooler Box With Thermoelectric Position Variations," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 22, no. 1, pp. 177–184, 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2018.09.006.
- [8] Sedayu and B. P. A. I. M. Arsana, "Aplikasi Pendingin Elektrik Tec1-12706 Dengan Water Cooling Pada Cooler Box Berbasis Semikonduktor," *JRM J. Mhs.*, vol. 4, no. 2, pp. 61–66, 2017.
- [9] G. A. Dubey, V. R. Chaurasia, A. Kumar, S. Chaurasiya, V. T. Churi, and M. A. Gulbarga, "Design and Fabrication of Solar Powered Portable Medical Refrigerator for Remote and Rural areas based on Peltier Effect," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 903–909, 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.41380.
- [10] S. Raoux and M. Wuttig, *Phase Change Materials. [electronic resource]*. 2009. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/232003020\\_Phase\\_change\\_materials](https://www.researchgate.net/publication/232003020_Phase_change_materials)
- [11] A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, and D. Buddhi, "Review On Thermal Energy Storage With Phase Change Materials and Applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 2, pp. 318–345, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2007.10.005.
- [12] Gunawati, N. Noor, K. Sebayang, and A. Setiawan, "Experimental Investigation Of A Cold Storage Box With Aceh Locally Produced Hydrated Salt As Phase Change Materials: Effect Of Salt Treatment," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 364, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/364/1/012019.
- [13] Eriyadi, "Analisi Phase Change Material Larutan Eutektik Air-Garam Natrium Klorida sebagai Pendingin Storage Ikan Besar," *Digit. Repos. UNILA*, no. Mei, p. 6, 2021, [Online]. Available: <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/61968>
- [14] A. Setiawan and A. Setiawan, "Dalam kehidupan sekarang ini manusia semakin membutuhkan tempat penyimpanan yang bisa menyimpan berbagai benda dan membuatnya agar tetap refrigeran yang rusak

- lapisan ozon . lingkungan . Tujuan dari penelitian ini adalah menyimpan obat yang ramah lingku,” vol. 3, no. 2, pp. 130–139, 2020, doi: 10.32493/epic.v3i2.7419.
- [15] Y. Rifky, R. Sirodz, “Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC),” *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister ...*, vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2020, [Online]. Available: <http://103.75.102.195/index.php/teknobiz/article/view/1359>
- [16] A. Aziz, J. Subroto, and V. Silpana, “Aplikasi modul pendingin termoelektrik sebagai media pendingin kotak minuman”.
- [17] M. G. Suryanata, K. Ibnutama, and S. Informasi, “Lemari pendingin portable untuk penyimpanan air susu ibu (asi) menggunakan termoelektrik,” vol. VII, no. 1, pp. 53–60, 2020.
- [18] R. Aziz, P. N. Indramayu, and S. Pendingin, “SISTEM KONTROL SUHU PENYIMPAN BUAH-SAYUR PADA MESIN PENDINGIN Abstrak,” vol. 3, no. September, pp. 32–36, 2017.
- [19] F. Salsabila, B. P. Manunggal, and I. Yuliani, “Pembuatan Cooling Box untuk Penyimpanan Vaksin Sinovac Berbasis Thermoelectric,” *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, no. 2020, pp. 4–5, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2817/2208>
- [20] W. Wang, Z. Chen, X. Zhang, L. Chen, and S. Guan, “Study on fabrication and properties of the aluminum foil/bubble composite,” *ICCM Int. Conf. Compos. Mater.*, vol. 2017-Augus, no. August, pp. 20–25, 2017.
- [21] J. D. Hasibuan and J. Jufrizal, “Pemodelan Numerik Perpindahan Panas pada Dinding Ruang Bakar Boiler Menggunakan Software Engineering,” *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 2, no. 2, pp. 81–90, 2023, doi: 10.56862/irajtma.v2i2.47.
- [22] M. Munthaha, G. Rudi Cahyono, and P. Razi Ansyah, “Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Pendinginan Panel Surya,” *J. POROS Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 29–34, 2020.
- [23] Ibny, “Analisa Aliran Kalor pada Sistem Pendingin Menggunakan Modul Termoelektrik Cooler dengan Tipe Silinder,” *Repos. Univ. Islam Riau*, vol. 53, no. February, p. 2021, 2021, [Online]. Available: <http://repository.uir.ac.id/id/eprint/9133>
- [24] Holman, “Heat Transfer Tenth Edition,” *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11)*, 951–952., pp. 5–24, 2010, [Online]. Available: [http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB 2.pdf](http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB%202.pdf)
- [25] A. J. G. Yunus A. Cengel, *Heat and Mass Transfer*, vol. 6, no. 1. 2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-heat-and-mass-transfer>
- [26] Hengki, M. Rahmat, and S. P. Sutisna, “Analisa Efisiensi Energi Alat Pendingin Portable di Sepeda Motor,” *Anal. Efisiensi Energi Alat Pendingin Portable Di Sepeda Mot.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unugha.ac.id/index.php/me/article/view/384>
- [27] S. Haryadi and I. Riswanto, “Perencanaan Evaporator Pada Freezer Dengan Kapasitas 8 Kg,” *J. Keilmuan dan Terap. Tek.*, vol. 01, no. 1, pp. 39–46, 2012, [Online]. Available: <http://journal.unigres.ac.id/index.php/WahanaTeknik/article/view/521>
- [28] H. Asyari, R. A. Firmansyah, and M. Kusban, “Analisa Tingkat Potensi Sinar Matahari Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Daerah Pantai,” *RAPI Simp. Nas. RAPI XIX*, pp. 82–89, 2020, [Online]. Available: <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/handle/11617/12381>
- [29] I. Fauzan and A. D. Korawan, “Penggunaan PCM Sebagai Material Penyimpan Kalor Pada Lemari Pendingin,” *J. Simetris*, vol. 13(1), no. 1, pp. 6–8, 2019.