

Pemanfaatan PCM Etanol Pada Kotak Pendingin Dengan Sistem *Thermoelectric Cooler* Bertenaga Surya

Muhammad Imam Sobirin¹⁾, Rifky^{2*)}, Acep Saputra³⁾, Ade Irza Fahrezi⁴⁾,
Dimas Priyuko Tri Asmoro⁵⁾.

¹⁻⁵⁾Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA
E-mail: ¹⁾muhammadimansobirin@gmail.com¹⁾, rifky@uhamka.ac.id²⁾,
saputraacep706@gmail.com³⁾, irzaade1@gmail.com⁴⁾,
dimasaye25@gmail.com⁵⁾.

Abstrak

Salah satu potensi energi terbarukan yang semakin populer penggunaannya adalah energi matahari. Sel surya dipadukan dengan modul termoelektrik sebagai sistem pendingin alternatif bertenaga matahari, sehingga integrasi kedua konverter energi tersebut dapat ditulis sebagai PV+TEC. Sistem pendingin PV+TEC masih memiliki koefisien kinerja yang rendah. Oleh karena itu dibutuhkan gagasan untuk meningkatkannya dengan menempatkan material perubahan fasa (PCM) dalam ruang model kotak pendingin berbasis sistem PV+TEC tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh PCM larutan C₂H₅OH:H₂O terhadap koefisien kinerja sistem pendingin dan temperatur terendah yang dapat dicapai pada model kotak pendingin dengan menggunakan termoelektrik. Parameter yang diukur adalah intensitas cahaya, kecepatan angin, temperatur panel surya, temperatur lingkungan, temperatur dinding kotak bagian luar, temperatur dinding kotak pendingin bagian dalam, temperatur TEC, temperatur ruang tengah kotak, temperatur PCM, tegangan dan arus. Hasil dari temperatur terendah pada ruang dalam kotak pendingin tanpa PCM sebesar 18,9°C, kotak pendingin dengan PCM C₂H₅OH:H₂O=1:3 sebesar 17,9°C, kotak pendingin dengan PCM C₂H₅OH:H₂O=1:5 sebesar 16,7°C, dan kotak pendingin dengan PCM C₂H₅OH:H₂O=1:8 sebesar 14,4°C. Hasil penelitian mendapatkan bahwa koefisien kinerja yang diperoleh pada kotak pendingin tanpa PCM sebesar 0,0219, kotak pendingin dengan PCM C₂H₅OH:H₂O=1:3 sebesar 0,0246, kotak pendingin dengan PCM C₂H₅OH:H₂O=1:5 sebesar 0,0292, dan kotak pendingin dengan PCM C₂H₅OH:H₂O=1:8 sebesar 0,0335.

Kata Kunci: Energi matahari, PCM, Termoelektrik.

Abstract

One of the renewable energy potentials that is increasingly popular for use is solar energy. The solar cells are combined with thermoelectric modules as an alternative solar-powered cooling system, so the integration of the two energy converters can be written as PV+TEC. PV+TEC cooling systems still have a low performance coefficient. Therefore, the idea of improving it is needed by placing the phase change material (PCM) in the cooling box model room based on the PV+TEC system. This study aims to obtain the effect of PCM of C₂H₅OH:H₂O solution on the performance coefficient of the cooling system and the lowest temperature that can be achieved in the cooling box model using thermoelectricity. The parameters measured are light intensity, wind speed, solar panel temperature, environmental temperature, outer box wall temperature, inner cooling box wall temperature, TEC temperature, box center room temperature, PCM temperature, voltage and current. The results of the lowest temperature in the chamber in the cooler box without PCM were 18.9°C, the cooler box with PCM C₂H₅OH:H₂O=1:3 was 17.9°C, the cooler box with PCM C₂H₅OH:H₂O=1:5 was 16.7°C, and the cooler box with PCM

$C_2H_5OH:H_2O=1:8$ was $14.4^{\circ}C$. The results of the study showed that the performance coefficient obtained in the cooling box without PCM was 0.0219, the cooling box with PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:3$ was 0.0246, the cooling box with PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:5$ was 0.0292, and the cooling box with PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:8$ was 0.0335.

Keywords: Solar energy, Thermoelectricity, PCM

1. PENDAHULUAN

Permintaan energi di masa depan didorong untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan[1]. Tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah habisnya sumber daya energi yaitu dengan cara penghematan penggunaan sumber energi daya alternatif dan terbarukan yang menggunakan energi matahari[2]. Energi matahari dapat mengkonversi dari panas matahari yang diserap oleh panel surya diubah menjadi listrik [3]. Cara kerja panel surya secara sederhana panel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor tipe P dan N yang membentuk *junction* P-N semikonduktor, yang jika terkena sinar matahari, akan mengalirkan elektron, yang disebut sebagai arus listrik [4].

Panel surya dapat diintegrasikan dengan sistem pendinginan yang biasa digunakan oleh manusia, yaitu dengan sistem berkompresi uap seperti, air conditioner (AC), kulkas dan *freezer* yang menggunakan gas *freon* dengan kandungan berbahan kimia yang ada didalamnya yang dapat mengakibatkan merusak lapisan ozon dan pemanasan global disebabkan oleh penggunaan bahan pendingin yang tidak ramah lingkungan [5], [6]. Oleh sebab itu, diperlukan sistem pendingin alternatif seperti modul termoelektrik. Berdasarkan penggunaannya modul termoelektrik dapat digunakan sebagai generator termoelektrik (TEG) dan pendingin termoelektrik (TEC) [7].

Perbedaan antara dua jenis perangkat termoelektrik adalah generator termoelektrik (TEG) dan pendingin termoelektrik (TEC) [8]. Pendingin termoelektrik (TEC) mengubah listrik menjadi energi panas untuk pendingin melalui efek peltier, sedangkan generator termoelektrik (TEG) mengubah panas menjadi energi listrik melalui efek seebeck [9]. Penggunaan sistem pendingin termoelektrik merupakan salah satu sumber energi alternatif baru yang efisien [10]. Pemanfaatan sistem pendingin termoelektrik memiliki kelebihan yaitu penghemataan energi yang biasa digunakan pendingin dan ramah lingkungan [7].

Oleh sebab itu, diperlukan penggunaan sistem pendingin termoelektrik bertenaga surya dengan *phase change material* (PCM) untuk membantu pendinginan ruang kotak pendingin.

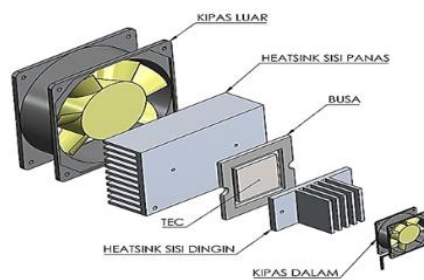
Phase change material adalah bahan yang dapat melakukan perubahan fase dari satu fase ke fase lainnya, seperti dari padat ke cair, cair ke padat, atau gas ke padat. Proses perubahan fase ini memerlukan atau menghasilkan energi panas laten, sehingga *phase change material* dapat berfungsi sebagai penyimpan panas [11], [12]. Cara kerja pada *phase change material* yaitu dapat menyerap dan melepaskan panas laten dari lingkungan dan menjaga temperatur sistem pendingin tetap stabil [13]. pemilihan bahan untuk *phase change material* harus sesuai dengan sifat dan klasifikasinya.

Memaksimalkan pendingin termoelektrik dapat ditambahkan dengan *phase change material* larutan $C_2H_5OH:H_2O$ didalamnya untuk membantu laju pendingin ruang pendingin dan supaya menahan kondisi dingin yang cukup lama. Larutan C_2H_5OH memiliki titik beku yang sangat rendah yaitu $-114,1^{\circ}C$ maka itu dicampurkan dengan H_2O dapat menyerap dan melepaskan termal secara efisien, sampai mempunyai potensi untuk menjaga temperatur sistem pendingin tetap stabil [14][15]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh PCM campuran larutan etanol dengan air terhadap temperatur terendah dan koefisien kinerja sistem pendingin termoelektrik pada kotak pendingin dengan tenaga surya.

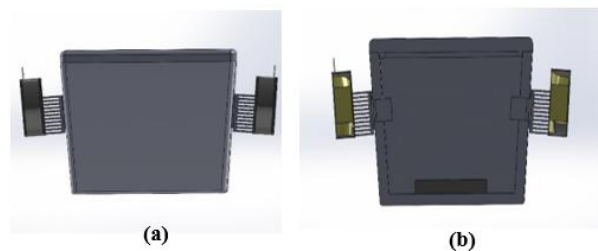
2. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini dilakukan secara eksperimental untuk mengetahui pengaruh *phase change material* larutan $C_2H_5OH : H_2O$ terhadap koefisien kinerja sistem pendingin dan pencapaian temperatur minimum ruang pendingin. Pada penelitian ini memvariasikan empat kotak pendingin yang diletakkan pada *ice pack* untuk sebagai PCM yang diletakkan di bawah ruang dalam kotak pendingin yang berbeda-beda takaran isi di dalam *ice pack* berukuran 500 ml yaitu kotak pendingin yang tanpa menggunakan PCM, PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:3$ dari komposisi 125 ml C_2H_5OH dan 375 ml H_2O , PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:5$ dari komposisi 83 ml $C_2H_5OH:H_2O$ dan 417 ml H_2O , dan PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:8$ dari komposisi 55

ml $C_2H_5OH:H_2O$ dan 445 ml H_2O . Penelitian ini dilakukan pada kotak *styrofoam* yang berukuran 30cm x 21cm x 25cm, menggunakan modul surya *polycrystalline* 50 Wp, dua modul termoelektrik yang disusun seri 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. Susunan rangkaian pendingin termoelektrik dan desain kotak pendingin dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2 di bawah ini.

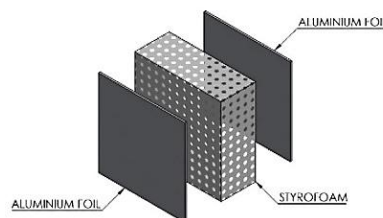


Gambar 1 Susunan Rangkain Modul Termoelektik



Gambar 2 Desain (a) Kotak Pendingin Tanpa PCM (b) Kotak Pendingin Menggunakan PCM

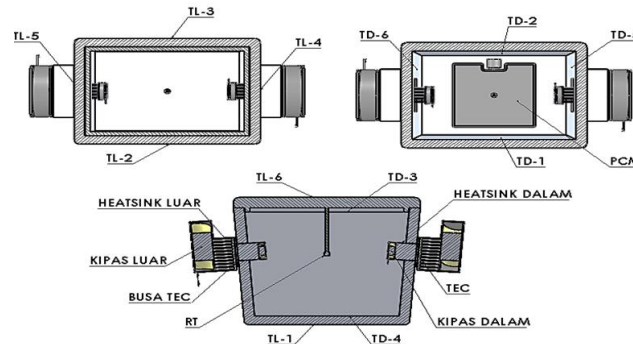
Pada dinding kanan dan kiri memiliki luas yang berbeda dengan dinding lainnya. Hal ini dikarenakan terpotong luas *heatsink* yang dipakai pada kotak pendingin, sehingga luasnya berbeda dengan dinding lainnya. Material pelapis kotak pendingin terdapat pada gambar 3 yang terdiri aluminium foil bagian dalam,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



Gambar 3 Material Pelapis 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].

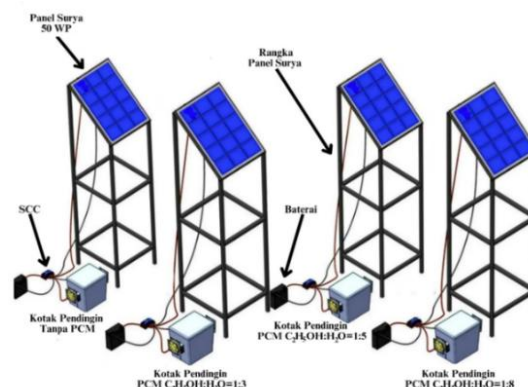
Sementara itu pada kotak pendingin terdapat simbol temperatur pada dinding seperti gambar berikut ini.



Gambar 4 Letak Pada Pengukuran Temperatur Pada Kotak Pendingin

Pada gambar 4 menunjukkan letak temperatur pada kotak pendingin yang terdiri dari temperatur dinding dalam kotak pendingin dan temperatur dinding luar kotak pendingin. Pada temperatur dalam yaitu: TD-1= temperatur dalam depan, TD-2= temperatur dalam belakang, TD-3= temperatur dalam atas, TD-4= temperatur dalam bawah, TD-5= Temperatur dalam kanan, TD-6= Temperatur dalam kiri, dan RT= temperatur ruang tengah. Sedangkan pada temperatur luar kotak pendingin yaitu: TL-1= temperatur luar bawah, TL-2 = temperatur luar depan, TL-3 = temperatur luar belakang, TL-4 = temperatur luar kanan, TL-5 = temperatur luar kiri, dan TL-6 = temperatur dinding luar atas.

Alat yang digunakan pada penelitian ini digambarkan pada skema gambar 5 di berikut ini.



Gambar 5 Desain Rangkain Sistem Pendingin

Pada gambar 5 diatas modul surya dihubungkan ke watt meter untuk mengetahui daya listrik yang diberikan lalu dilanjutkan menuju SCC. SCC dipakai untuk mengatur arus ke beban dan mengatur pengisian baterai. Setelah itu arus yang

diatur SCC diberikan ke beban TEC melalui watt meter. Metode pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan melakukan pengukuran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengujian dan perhitungan dilakukan dengan empat variasi yaitu, kotak pendingin tanpa PCM, kotak pendingin PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:3$, kotak pendingin PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:5$, dan kotak pendingin PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:8$ data tersebut diperoleh dari hasil pengukuran temperatur terendah kotak pendingin yang dari rata-rata temperatur setiap kotak pendingin. Berikut ini adalah temperatur terendah kotak pendingin yang ditampilkan pada tabel berikut ini.

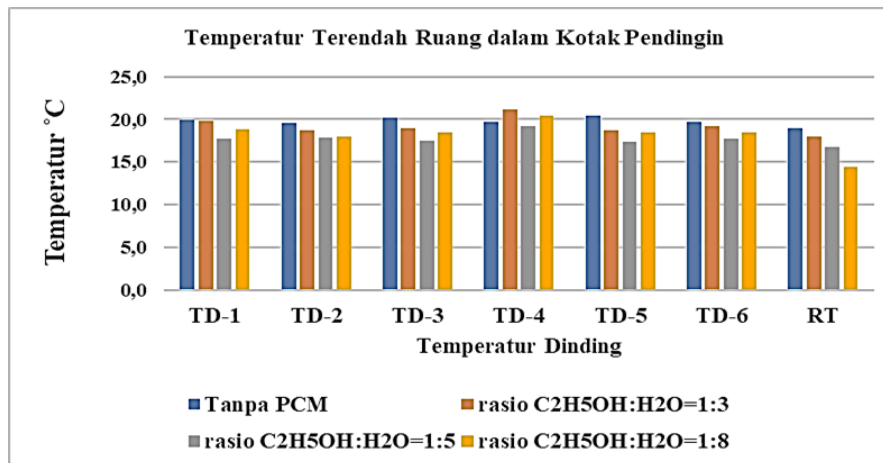
a. Pengaruh PCM terhadap pencapaian temperatur terendah ruang dalam kotak pendingin

Tabel 1 Temperatur terendah kotak pendingin

No	Posisi	Temperatur Terendah Ruang Pendingin			
		Tanpa PCM	Rasio $C_2H_5OH:H_2O$		
			1:3	1:5	1:8
1.	TD-1	19,9	19,8	17,7	18,9
2.	TD-2	19,6	18,7	17,9	18,0
3.	TD-3	20,2	19,0	17,5	18,5
4.	TD-4	19,7	21,1	19,2	20,4
5.	TD-5	20,4	18,8	17,3	18,4
6.	TD-6	19,6	19,2	17,8	18,4
7.	RT	18,9	17,9	16,7	14,4
Maksimum		20,4	21,1	19,2	20,4
Minimum		18,9	17,9	16,7	14,4

Pada tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran temperatur ruang dalam kotak pendingin selama tiga hari perolehan temperatur terendah pada ruang dalam kotak pendingin selama tiga hari yaitu sebesar $14,4^{\circ}C$, yang terjadi pada kotak pendingin menggunakan PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:8$ di bagian RT, sementara itu temperatur maksimum diperoleh dari kotak pendingin menggunakan PCM $C_2H_5OH:H_2O=1:3$ sebesar $21,1^{\circ}C$ yang terjadi pada TD-4.

Untuk mempermudah analisis data disajikan dengan dalam bentuk grafik batang. Grafik batang tersebut menggambarkan distribusi temperatur terendah pada setiap dinding kotak pendingin yang dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 6. Distribusi Temperatur Terendah Kotak Pendingin Dalam Tiga Hari

Pada Gambar 6 menunjukkan distribusi grafik batang temperatur terendah ruang pada kotak pendingin menggunakan PCM selama tiga hari dengan komposisi kotak pendingin tanpa PCM, rasio C₂H₅OH:H₂O=1:3, rasio C₂H₅OH:H₂O=1:5, dan rasio C₂H₅OH:H₂O=1:8. Pola grafik batang mengalami cenderung penurunan, tetapi terdapat perbedaan temperatur ruang pada setiap kotak pendingin. Penurunan temperatur yang paling signifikan terdapat pada RT kotak pendingin dengan menggunakan PCM dengan komposisi rasio C₂H₅OH:H₂O=1:8 yaitu, mencapai temperatur terendah sebesar 14,4°C. Hal ini dikarenakan PCM rasio C₂H₅OH:H₂O=1:8 adalah yang paling efektif dalam mencapai temperatur minimum. Hal ini terjadi karena PCM dalam melakukan perubahan fasa dan membuat temperatur hampir selalu konstan, dan penambahan terhadap H₂O semakin banyak dapat mengakibatkan penurunan temperatur terendah pada kotak pendingin. Temperatur sangat terendah berada di temperatur ruang tengah kotak pendingin[14][15].

b. Daya masukan panel surya ke sistem pendingin

Daya masukan panel surya ke sistem pendingin dalam tiga hari, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Daya masukan panel surya ke sistem pendingin

Sistem pendingin	Notasi	Total daya masukan ke sistem pendingin			
		Hari 1	Hari 2	Hari 3	Rata-rata
Sistem pendingin tanpa PCM	P_{in} [W]	2.191,09	3.412,93	1.746,04	2.450,02
Rasio C ₂ H ₅ OH:H ₂ O	1:3 P_{in} [W]	2.191,09	3.412,93	1.746,04	2.450,02
	1:5 P_{in} [W]	2.191,09	3.412,93	1.746,04	2.450,02
	1:8 P_{in} [W]	2.191,09	3.412,93	1.746,04	2.450,02

c. Perhitungan Kalor Yang Hilang

Beban kalor yang hilang adalah kalor yang hilang terjadi pada kotak pendingin yang keluar ke lingkungan karena adanya mekanisme perpindahan panas. Kalor yang hilang dihitung menggunakan persamaan konduksi dengan persamaan sebagai berikut [16].

$$q_1 = \frac{T_{\infty} - T_w}{\left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right) A + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right) B + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right) C}$$

Perhitungan kalor yang hilang pada setiap kotak pendingin yang dihitung selama tiga hari dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 kalor yang hilang

Sistem pendingin		Notasi	Kalor yang hilang pada sistem pendingin			
			Hari 1	Hari 2	Hari 3	Rata-rata
Sistem pendingin tanpa PCM		q_1 [W]	43,48	39,78	33,17	38,810
Rasio $C_2H_5OH:H_2O$	1:3	q_1 [W]	46,35	45,81	41,96	44,707
	1:5	q_1 [W]	53,57	53,16	53,16	53,297
	1:8	q_1 [W]	65,82	66,88	62,78	65,160

d. Perhitungan beban kalor transmisi

Beban kalor transmisi adalah perpindahan panas yang terjadi pada dinding dalam dan dinding luar kotak pendingin. Penghasilan atau kerugian kalor akibat dua sisi elemen memiliki suhu yang berbeda. Beban kalor transmisi dapat di hitung dengan persamaan berikut [17].

$$q_2 = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Adapun untuk mencari koefisien dari perpindahan kalor yang terjadi pada dinding kotak pendingin dapat dihitung dengan rumus berikut [17].

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

Perhitungan beban kalor transmisi pada kotak pendingin selama tiga hari dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Beban kalor Transmisi

PERHITUNGAN KALOR TRANSMISI [W]			
Kotak pendingin	Hari	Hasil q_2	Rata-rata
Tanpa PCM	Hari 1	15,717	14,896
	Hari 2	15,290	

Rasio C₂H₅OH:H₂O	1:3	Hari 3	13,680	15,577
		Hari 1	15,373	
		Hari 2	16,422	
		Hari 3	14,935	
	1:5	Hari 1	18,133	18,347
		Hari 2	19,246	
		Hari 3	17,662	
		Hari 1	16,183	17,116
	1:8	Hari 2	18,677	
		Hari 3	16,488	

e. Perhitungan Total beban kalor pendingin

Beban kalor pendinginan total merupakan beban kalor keseluruhan pada ruang pendingin yang perlu dihilangkan untuk mencapai temperatur pada ruang pendingin yang diinginkan. Untuk menghitung beban kalor pendingin dapat menggunakan persamaan berikut[18].

$$q_c = q_1 + q_2$$

Perhitungan total beban kalor pendingin pada kotak pendingin selama tiga hari dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Total beban kalor pendingin

PERHITUNGAN RATA-RATA TOTAL BEBAN KALOR PENDINGIN [W]				
Kotak pendingin		Hari	Hasil q_c	Rata-rata
Tanpa PCM		Hari 1	59,20	53,706
		Hari 2	55,07	
		Hari 3	46,85	
Rasio C ₂ H ₅ OH:H ₂ O	1:3	Hari 1	61,72	60,283
		Hari 2	62,23	
		Hari 3	56,90	
	1:5	Hari 1	71,72	71,710
		Hari 2	72,59	
		Hari 3	70,82	
	1:8	Hari 1	82,00	82,276
		Hari 2	85,56	
		Hari 3	79,27	

f. Perhitungan *Coefficient of Performance* (CoP)

Coefficient of Performance (CoP) adalah ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap sistem atau produk terhadap besarnya daya listrik yang masuk. Nilai (CoP) dapat menggunakan persamaan berikut[9].

$$CoP = \frac{q_c}{p_{in}}$$

Perhitungan CoP kotak pendingin selama tiga hari dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Perhitungan CoP

PERHITUNGAN KOEFISIEN KINERJA			
Kotak pendingin		Hari	Hasil CoP
Tanpa PCM		Hari 1	0,0270
		Hari 2	0,0161
		Hari 3	0,0268
Rasio C ₂ H ₅ OH:H ₂ O	1:3	Hari 1	0,0282
		Hari 2	0,0182
		Hari 3	0,0326
	1:5	Hari 1	0,0327
		Hari 2	0,0213
		Hari 3	0,0406
	1:8	Hari 1	0,0374
		Hari 2	0,0251
		Hari 3	0,0454

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka menghasilkan simpulan temperatur terendah ruang pendingin pada kotak pendingin dengan PCM rasio C₂H₅OH:H₂O=1:8 dengan sebesar 14,4°C, sehingga penggunaan PCM menghasilkan temperatur lebih yang rendah. Rata-rata koefisien kinerja (CoP) pada kotak pendingin dengan PCM rasio C₂H₅OH:H₂O=1:8 sebesar 0,0335, sehingga penggunaan PCM rasio C₂H₅OH:H₂O=1:8 dapat meningkatkan koefisien kinerja pada kotak pendingin bertenaga surya. Pada penelitian ini PCM rasio C₂H₅OH:H₂O=1:8 paling tepat untuk sebagai PCM dikarenakan pengaruh terhadap temperatur terendah ruang pendingin dan koefisien kinerja pada sistem pendingin. Hal ini dikarenakan penambahan H₂O yang lebih banyak akan mengakibatkan temperatur kotak pendingin menjadi stabil dan koefisien kinerja semakin meningkat .

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Kh. M. A. Alrikabi, "Renewable Energy Types," *Journal of Clean Energy Technologies*, pp. 61–64, 2014, doi: 10.7763/jocet.2014.v2.92.
- [2] A. Jaenul, M. Manfaluthy, Y. Pramodja, and F. Anjara, "Pembuatan Sumber Listrik Cadangan Menggunakan Panel Surya Berbasis Internte of Things (IoT) dengan Beban Lampu dan Peralatan Listrik," *Formosa Journal of Science and Technology (FJST)*, vol. 1, no. 3, pp. 143–156, 2022, [Online]. Available: <https://journal.formosapublisher.org/index.php/fjst>
- [3] Saiful Manan, "Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif Yang Effisien, Handal Dan Ramah Lingkungan Di Indonesia," *Gema Teknologi*, pp. 31–35, 2022.

- [4] Partaonan Harahap, “Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya,” (*Rekayasa Elektrikal dan Energi*): *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020.
- [5] B. Y. Prasetyo and W. S. Ayu, “Kaji Eksperimental Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Alternatif,” *Prosiding The 12 th jurnal jurnal Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, pp. 4–5, 2021.
- [6] S. Seyednezhad, “*Thermoelectric-Based Cooling Systems for Building Application: A Thermoelectric-Based Cooling Systems for Building Application: A Sustainable Solution Sustainable Solution*,” *Journal Florida Institute of Technology*, pp. 1–186, 2021, [Online]. Available: <https://repository.fit.edu/etd>
- [7] Akbar Sujiwa and Mochamad Arif Nurochman, “Analisa Suhu Pendinginan Termoelektrik Tipe TEC-12706 Dengan Variasi Metode Pendinginan Sisi Panas,” *Seminar Nasional Fortei Regional 7*, pp. 425–429, 2019.
- [8] Rifky and Yogi Sirodz Gaos, “Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC),” 2020.
- [9] M. I. Rafiq and E. Elfiano, “Analisa Aliran Kalor Pada Sistem Pendingin Menggunakan Modul Termoelektrik Cooler Dengan Tipe Silinder,” *Jurnal universitas islam riau*, pp. 1–58, 2021.
- [10] Amrullah, Zuryati Djafar, and Wahyu H. Piarah, “Penerapan Termoelektrik Ganda pada Mesin Pendingin Air Minum sebagai Solusi Penghematan Energi,” *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 1, pp. 42–48, 2015.
- [11] I. M. Astika, “*Phase Change Materials for Building Applications: A Review*,” *Prosiding SNTTM XVII*, vol. 9, p. 5, 2019.
- [12] Y. Huang, A. Stonehouse, and C. Abeykoon, “*Encapsulation methods for phase change materials – A critical review*,” Jan. 01, 2023, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123458.
- [13] C. Xiao, G. Zhang, Z. Li, and X. Yang, “*Custom design of solid-solid phase change material with ultra-high thermal stability for battery thermal management*,” *J Mater Chem A Mater*, vol. 8, no. 29, pp. 14624–14633, Aug. 2020, doi: 10.1039/d0ta05247g.
- [14] Tito Adi Nugroho, Kiryanto, and Berlian Arswendo Adietya, “Kajian Eksperimen Penggunaan Media Pendingin Ikan Berupa Es Basah dan Ice Pack sebagai Upaya Peningkatan Performance Tempat Penyimpanan Ikan Hasil Tangkapan Nelayan,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 4, no. 4, pp. 889–898, 2016.
- [15] M. Lache, C. Kappelhoff, J. Seiler, and A. Bardow, “*Water and Ethanol as Refrigerant Mixture Enabling Adsorption Cooling below 0 °C*,” *Energy Technology*, vol. 11, no. 3, Mar. 2023, doi: 10.1002/ente.202201158.
- [16] R. T. Susilo and R. Hermawan, “Analisa Kapasitas Pendingin Pada Ruang Dome Quality Inspection Appearance di PT XXX,” *Jurnal SEMRESTEK*, pp. 55–64, 2020.
- [17] B. Setiawan and E. Sutopo, “Perancangan Cold Box Pada Sistem Pendingin Daging Sapi Dengan Kapasitas 50 KG,” *Seminar nasional teknologi*, vol. 16, pp. 1–10, 2019.
- [18] A. Oematan, B. V. Tarigan, and M. Jafri, “Analisa Beban Kalor pada Ruang Bagian Kepegawaian Rektorat Universitas Nusa Cendana,” *Lontar Jurnal*

- Teknik Mesin Undana*, vol. 02, pp. 8–16, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal-fst-unc.com/index.php/LJTMU>
- [19] F. Salsabila, B. Puguh Manunggal, and I. Yuliani, “Pembuatan Cooling Box Untuk Penyimpanan Vaksin Sinovac Berbasis Thermoelectric,” *Prosiding The 12 th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 4–5, 2021.
- [20] W. Wang, Z. Chen, X. Zhang, L. Chen, and S. Guan, “Study On Fabrication And Properties Of The Aluminum Foil/Bubble Composite,” *International Conference on Composite Materials*, vol. 21, pp. 20–25, 2017.