

## Pengaruh Penambahan Beban pada Sistem Pendingin Termoelektrik Bertenaga Surya

Arif Fikry Ar Rasyid<sup>1</sup>, Rifky<sup>2\*</sup>, Yasir Aqil Maulana<sup>3</sup>, Thoriq Akbar Nafis<sup>4</sup>, Eki Hadi Setiawan<sup>5</sup>

\*Email corresponding author: [rifky@uhamka.ac.id](mailto:rifky@uhamka.ac.id)

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

Article history: Received: 27 Desember 2023 | Revised: 15 Maret 2024 | Accepted: 25 Maret 2024

**Abstract.** *One potential renewable energy has become more popular is solar modules. To utilize solar energy, it can be used in thermoelectric devices. Thermoelectric cooling modules are used in cooler box to store various foods and drinks. This research aims to obtain the lowest temperature achieved by the object cooling load in the form of 600 ml bottled water using the TEC1-12706 module. Testing, spanning three days from 09:00 to 14:00 WIB, was conducted both without load and with a load, represented by a 600 ml bottled water. Parameters measured included light intensity, wind speed, solar module temperatures, ambient temperatures, outer box wall temperature, thermoelectric temperature, cooling room temperature, 600 ml bottled water temperature, voltage, and current. The results, obtained on the third day, showcased the lowest temperatures with load at 20.1°C, 18.6°C without load, and a final water temperature of 20.7°C. The coefficient of performance for the cooling system with load is 1.305, and without load cooling is 1.572.*

**Keywords** - Solar module, thermoelectric, cooler box

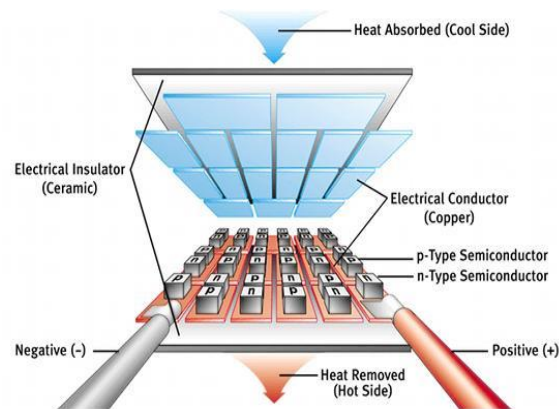
**Abstrak.** *Salah satu potensi energi terbarukan yang semakin populer penggunaannya adalah modul surya. Dalam upaya memanfaatkan energi surya dapat digunakan pada perangkat termoelektrik. Modul pendingin termoelektrik dimanfaatkan untuk kotak pendingin yang dapat menyimpan aneka makanan dan minuman. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan temperatur terendah yang dicapai beban pendingin objek berupa air kemasan 600 ml dengan menggunakan modul TEC1-12706. Pengujian dilakukan pada kotak pendingin tanpa beban dan pakai beban selama tiga hari dimulai pukul 09.00 hingga pukul 14.00 WIB. Parameter yang diukur adalah intensitas cahaya, kecepatan angin, temperatur modul surya, temperatur lingkungan, temperatur dinding luar kotak, temperatur termoelektrik, temperatur ruang pendingin, temperatur air kemasan 600 ml, tegangan, dan arus. Hasil pengujian dicapai temperatur terendah pada hari ketiga dengan temperatur ruang pendingin pakai beban sebesar 20,1°C, 18,6°C tanpa beban, dan temperatur akhir air sebesar 20,7°C. Koefisien kinerja sistem pendingin pakai beban pendinginan diperoleh sebesar 1,305 dan tanpa beban pendinginan sebesar 1,572.*

**Kata Kunci** - Modul surya, termoelektrik, kotak pendingin

### PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada geografis yang sangat strategis yaitu garis khatulistiwa sehingga mendapatkan pancaran sinar matahari yang kaya sepanjang tahunnya [1]. Menurut Kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral), pengembangan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) mengacu pada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional, yang didalam isinya menyebutkan kontribusi energi primer nasional pada energi surya sebesar 5%. Oleh karena itu, pemerintah dengan serius menetapkan target 23% EBT pada 2025 dan terus meningkat hingga tahun 2050 sebesar 31% [2]. Dengan populernya modul surya yang digunakan saat ini dapat memberikan dampak positif terhadap penghematan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan bergantung pada intensitas cahaya yang diterima dengan standar operasi modul surya sebesar 25°C [3]. Dalam memanfaatkan modul surya yang lebih luas dapat dipakai untuk menyuplai listrik ke termoelektrik. Termoelektrik dikategorikan menjadi dua yaitu pendingin termoelektrik (TEC) dan generator termoelektrik (TEG) [4]. Perbedaan diantara keduanya adalah TEC bekerja mengubah energi listrik menjadi energi panas untuk pendinginan, sementara TEG bekerja mengubah energi panas menjadi energi listrik.

Modul pendingin termoelektrik (TEC) merupakan komponen pendingin *solid state* yang berfungsi sebagai pompa kalor dalam melakukan proses pendinginan alternatif yang ramah lingkungan, ringan digunakan, perawatannya yang mudah, kompak, dan dimensinya yang tidak besar seperti sistem pendingin konvensional [4][5][6][7]. Pendingin termoelektrik didasarkan pada efek peltrier yang fenomena sisi panas dan dingin dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



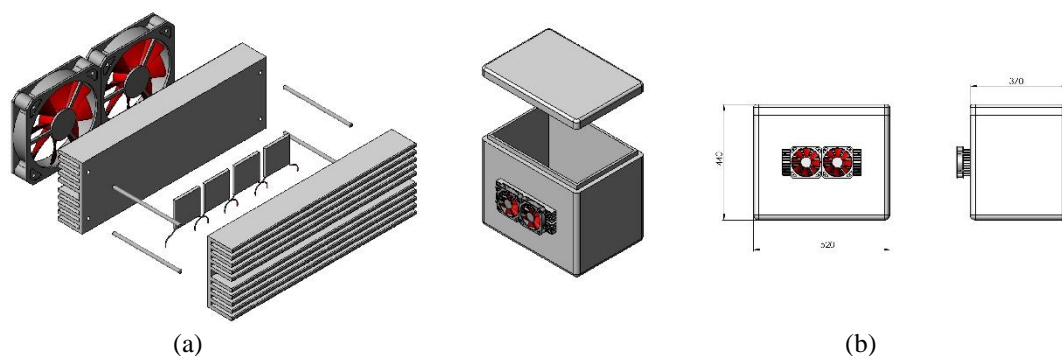
**Gambar 1.** Prinsip kerja pendingin termoelektrik [8]

Pendingin termoelektrik mempunyai karakteristik apabila dua komponen *bismuth* dan *telluride* yang berbeda, tipe P dan tipe N yang dialiri arus listrik DC pada bagian konduktor akan menghasilkan temperatur yang berbeda [4][9]. Hasilnya, sisi dingin akan mengalami pendinginan (kalor yang diserap) sementara sisi panas akan mengalami panas secara bersamaan (kalor yang dilepas). Supaya memaksimalkan kinerja sisi panas pendingin termoelektrik perlu dipasang *heatsink* dan kipas [10].

Beberapa penelitian tentang termoelektrik telah banyak dilakukan diantaranya digunakan untuk sistem pendingin untuk kabin mobil [4], evaluasi kinerja kotak pendingin [5], pendingin kotak medis [6], kinerja termoelektrik dengan variasi rangkaian dan putaran kipas [7], kotak pendingin termoelektrik untuk air susu ibu (ASI) [8], pendingin termoelektrik TEC1-12715 untuk beban air sebesar 2400 ml [11], penggunaan untuk kotak minuman 1 liter dengan menggunakan suplai daya dari PLN [12], kotak pendingin termoelektrik untuk vaksin sinovac [13], penggunaan beban pendingin objek air aqua gelas dengan pendingin termoelektrik [14]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan perlu upaya untuk meningkatkan kinerja sistem pendingin ini menggunakan tenaga surya. Sejauh ini belum ada penelitian sistem pendingin termoelektrik untuk beban objek satu botol air aqua 600ml yang menggunakan suplai energi surya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan koefisien kinerja sistem pendingin pada kotak pendingin, mendapatkan temperatur terendah yang dicapai ruang pendingin, dan mendapatkan temperatur terendah yang dicapai beban pendingin objek.

## METODE

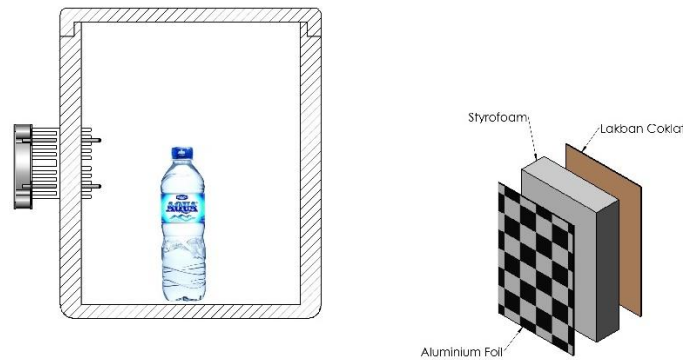
Pengujian dilakukan pada sebuah wadah berbentuk kotak *Styrofoam* yang berukuran 52 cm x 37 cm x 44 cm, menggunakan modul surya *Polycrystalline* 100 Wp, empat modul TEC 1-12706 yang dirangkai seri, dipasang pada *heatsink* dalam dan luar dengan bantuan dua kipas sebagai pembuang kalor. Penelitian dilakukan secara eksperimen untuk mengetahui temperatur terendah yang dicapai dengan memvariasikan kotak pendingin tanpa beban dan pakai beban pendingin objek. Desain konstruksi kotak pendingin dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



**Gambar 2.** (a) *Assembly* sistem pendingin (b) Pengaplikasian pada kotak pendingin

Pada dinding belakang dan depan bagian luar dan bagian dalam memiliki luas yang berbeda. Hal ini dikarenakan luas dinding terpotong luas *heatsink* yang dipakai kotak pendingin, sehingga ukuran luasnya berbeda antara dinding

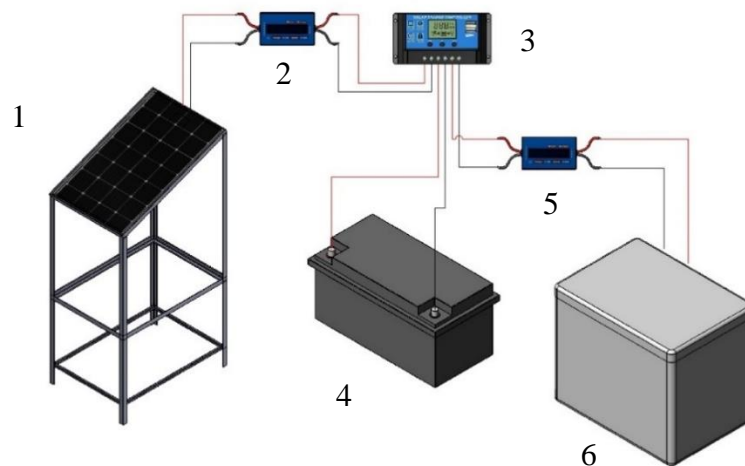
depan dan belakang. Material pelapis terdapat pada Gambar 3 yang terdiri dari aluminium foil, *styrofoam*, dan lakban coklat.



**Gambar 3.** Material pelapis kotak pendingin

Material pelapis kotak pendingin yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai konduktivitas termal ( $k$ ). aluminium foil sebesar  $0,038 \text{ W/m.k}$ , *styrofoam* sebesar  $0,33 \text{ W/m.k}$ , dan lakban coklat (*polypropylene*) sebesar  $0,17 \text{ W/m.k}$  [13][15][16].

Alat yang digunakan pada penelitian ini digambarkan pada skema Gambar 4 di bawah ini.



**Gambar 4.** Mekanisme kerja alat

Keterangan:

1. Modul surya
2. Watt meter
3. Solar charge controller (SCC)
4. Aki
5. Watt meter
6. Kotak pendingin

Pada Gambar 4 Modul surya disambungkan ke *watt meter* sebagai pemantau daya listrik yang diberikan lalu dihubungkan ke SCC. SCC dipakai untuk mengatur arus ke beban dan mengatur pengisian aki/baterai. Setelah itu arus yang diatur SCC diberikan ke beban TEC melalui *watt meter*. Metode pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan cara pengukuran. Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini tercantum pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Alat ukur yang digunakan

No	Alat ukur	Tipe
1	Solar Power Meter	SM206-SOLAR
2	Anemometer	BE816
3	Termometer digital	TPM-10
4	Watt meter	60V-100A

Perpindahan kalor yang terjadi pada kotak pendingin termoelektrik adalah perpindahan kalor konduksi dan konveksi. Perpindahan kalor konduksi terjadi disebabkan adanya perbedaan temperatur pada dinding antara sisi dalam dan sisi luarnya [4][17]. Perpindahan konveksi terjadi apabila panas yang mengalir pada bagian fluida ke bagian fluida yang lain dan lebih rendah temperaturnya yang disebabkan adanya perpindahan panas.

Ada dua jenis fenomena konveksi yaitu konveksi paksa dan konveksi alami/bebas. Konveksi paksa dipengaruhi unsur eksternal seperti kipas, pompa atau angin. Sebaliknya, konveksi alami terjadi jika aliran fluida bergerak dipengaruhi oleh gaya apung yang timbul karena variasi densitas akibat perubahan suhu dalam fluida [18]. Perpindahan panas konveksi terdapat bilangan tak berdimensi yang dikenal dengan Nusselt (Nu), Grashoff (Gr), Rayleigh dan Prandtl (Pr) [4]. Bilangan Nusselt dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

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

Pada konveksi bebas berlaku persamaan dibawah ini [4].

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

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

$$Ra = GrPr \quad (4)$$

Konveksi bebas yang terjadi pada pada pelat vertikal berlaku persamaan berikut ini dengan rentang nilai Ra sebagai acuan penggunaanya [4].

$$\overline{Nu} = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \text{ untuk } Ra_L < 10^9 \quad (5)$$

$$\overline{Nu}^2 = 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \text{ untuk } 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \quad (6)$$

Konveksi paksa berlaku bilangan Reynolds yang digunakan untuk dua aliran yaitu *laminar* dan *turbulent*. Aliran *turbulent* terjadi ketika bilangan Reynolds yang besar gaya inersia yang bergantung pada densitas, kecepatan fluida menjadi lebih signifikan terhadap gaya viskos. Hal ini mengakibatkan fluktuasi fluida yang acak dan cepat. Sebaliknya ketika bilangan Reynolds rendah gaya viskositas cukup besar untuk mengendalikan fluktuasi fluida, maka fluida yang mengalir menjadi lebih teratur. Kedua aliran ini bergantung pada rasio gaya inersia terhadap viskos dalam suatu fluida. Persamaan bilangan Reynolds dituliskan sebagai berikut [18].

$$Re = \frac{\text{Inertia forces}}{\text{Viscous forces}} = \frac{VL_c}{\nu} = \frac{\rho VL_c}{\mu} \quad (7)$$

Konveksi paksa yang terjadi pada pelat datar berlaku persamaan bilangan Nusselt sebagai berikut ini [18].

*Laminar*

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{1/3} \quad Re_L < 5 \times 10^5, Pr > 0.6 \quad (8)$$

*Turbulent*

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.037 Re_L^{0.8} Pr^{1/3} \quad 5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7, 0.6 \leq Pr \leq 60 \quad (9)$$

Kalor yang hilang terjadi pada ruang pendingin yang keluar ke lingkungan karena adanya perubahan temperatur. Kalor yang hilang dihitung menggunakan persamaan konduksi dengan persamaan sebagai berikut [4].

$$q_1 = \frac{T_\infty - T_w}{\left(\frac{\Delta x}{k.A}\right)A + \left(\frac{\Delta x}{k.A}\right)B + \left(\frac{\Delta x}{k.A}\right)C + \left(\frac{\Delta x}{k.A}\right)D} \quad (10)$$

Beban kalor transmisi terjadi akibat perpindahan panas secara konduksi dan konveksi melalui seluruh dinding ruang pendingin. Beban kalor transmisi dihitung dengan persamaan sebagai berikut [19].

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

Koefisien perpindahan kalor total yang terjadi pada dinding dan penutup ruang pendingin dihitung dengan persamaan sebagai berikut [19].

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

Beban pendinginan merupakan beban panas objek yang ada di dalam ruangan yang harus dipindahkan keluar dengan tujuan menurunkan temperatur di dalam ruangan. Panas jenis air ( $C_p$ ) pada temperatur 25°C sebesar 4180 J/kg.K [18]. Persamaan dinyatakan sebagai berikut [11].

$$q_3 = m C \frac{\Delta T}{t} \quad (13)$$

Dalam perhitungan massa objek perlu diketahui juga massa jenis objeknya (densitas) [18]. Beban pendingin objek berupa air kemasan 600 ml memiliki massa jenis air ( $\rho$ ) sebesar 997 kg/m<sup>3</sup> [18].

$$m = \rho \cdot V \quad (14)$$

Total beban kalor pendingin diperoleh dari penjumlahan antara beban kalor yang hilang, beban kalor transmisi, dan beban pendinginan objek. Persamaan dinyatakan sebagai berikut.

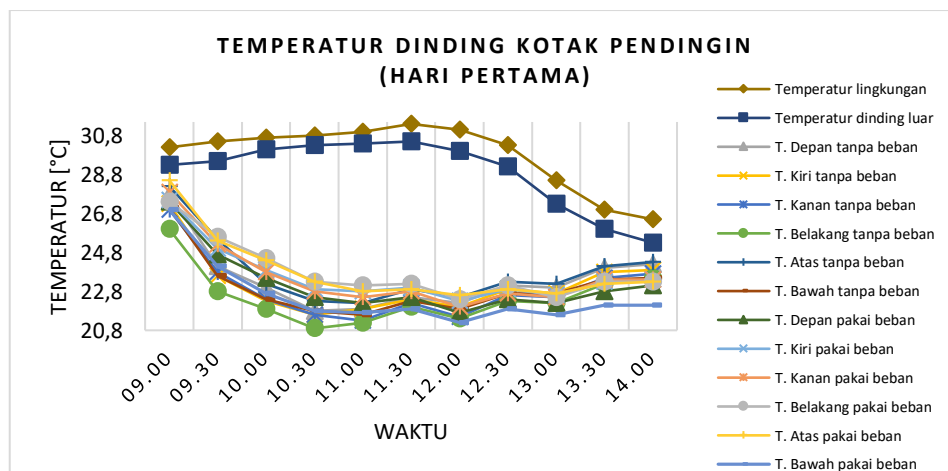
$$q_c = q_1 + q_2 + q_3 \quad (15)$$

Koefisien kinerja (COP) merupakan nilai dari sistem pendinginan termoelektrik. COP dihitung dengan persamaan sebagai berikut [4].

$$COP = \frac{q_c}{P_{in}} \quad (16)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengujian dan perhitungan dilakukan dengan dua variasi kotak pendingin tanpa beban dan pakai beban. Untuk memudahkan analisis, data tersebut disajikan dalam bentuk grafik. Grafik ini menggambarkan distribusi temperatur pada setiap dinding kotak yang dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.

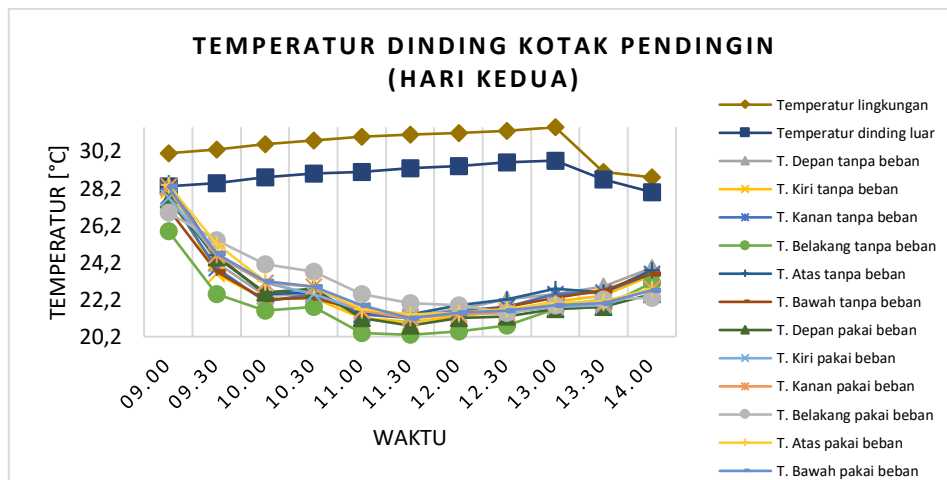


**Gambar 5.** Distribusi temperatur kotak pendingin hari pertama

Berdasarkan Gambar 5 di atas pola garis temperatur tiap-tiap dinding menggambarkan pola yang cenderung sama. Begitu juga pola yang digambarkan pada temperatur dinding luar dan temperatur lingkungan yang cenderung sama. Temperatur tiap-tiap dinding menunjukkan bahwa temperatur lingkungan tidak mempengaruhi temperatur dinding. Temperatur paling rendah dicapai kotak pendingin tanpa beban hari pertama pada posisi dinding belakang

bagian dalam. Rendahnya temperatur posisi dinding belakang tanpa beban dikarenakan posisi heatsink berada di dinding bagian belakang, sehingga penyebaran dingin paling cepat berada di dinding bagian belakang diantara dinding lainnya. Sementara itu, temperatur terendah kotak pendingin pakai beban di hari pertama dicapai pada posisi dinding bawah bagian dalam.

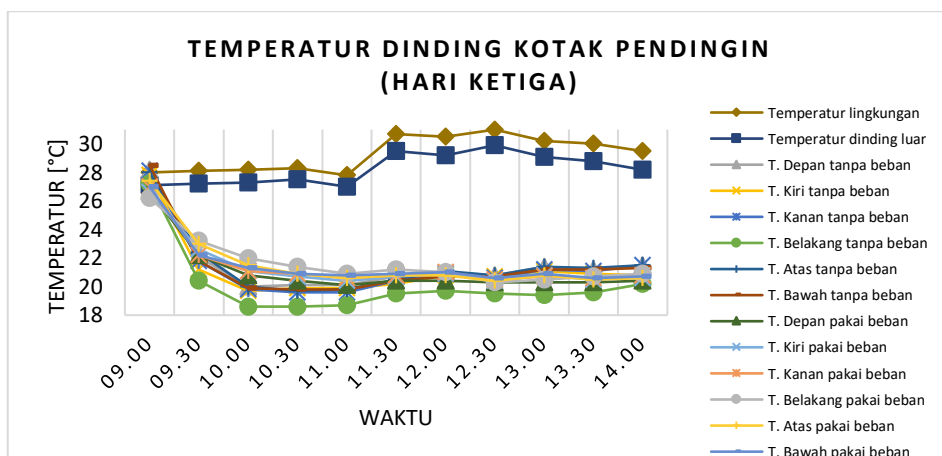
Grafik pengujian kotak pendingin hari kedua menggambarkan distribusi temperatur pada setiap dinding kotak yang dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



**Gambar 6.** Distribusi temperatur kotak pendingin hari kedua

Berdasarkan Gambar 6 di atas menunjukkan pola garis temperatur tiap-tiap dinding menggambarkan pola yang cenderung sama. Begitu juga pola yang digambarkan pada temperatur dinding dan temperatur lingkungan yang cenderung sama. Temperatur tiap-tiap dinding bagian dalam menunjukkan bahwa temperatur lingkungan tidak mempengaruhi temperatur dinding pendingin. Temperatur terendah kotak pendingin tanpa beban hari kedua dicapai pada posisi dinding belakang. Rendahnya temperatur posisi dinding belakang tanpa beban dikarenakan posisi heatsink berada di dinding bagian belakang, sehingga penyebaran dingin paling cepat berada di dinding bagian belakang diantara dinding lainnya. Sementara itu, temperatur terendah kotak pendingin pakai beban di hari kedua dicapai pada posisi dinding kanan dan bawah bagian dalam.

Grafik pengujian kotak pendingin hari ketiga menggambarkan distribusi temperatur pada setiap dinding kotak yang dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



**Gambar 7.** Distribusi temperatur kotak pendingin hari ketiga

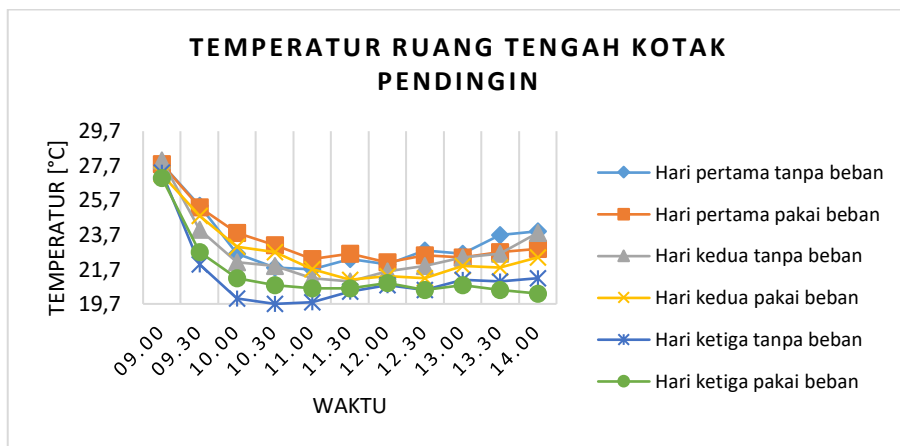
Berdasarkan Gambar 7 di atas menunjukkan pola garis temperatur tiap-tiap dinding menggambarkan pola yang cenderung sama. Begitu juga pola yang digambarkan pada temperatur dinding dan temperatur lingkungan yang cenderung sama. Temperatur tiap-tiap dinding bagian dalam menunjukkan bahwa temperatur lingkungan tidak mempengaruhi temperatur dinding kotak pendingin. Temperatur paling rendah dicapai kotak pendingin tanpa beban hari ketiga dicapai pada posisi posisi dinding belakang bagian dalam. Rendahnya temperatur posisi dinding belakang tanpa beban dikarenakan posisi heatsink berada di dinding bagian belakang, sehingga penyebaran dingin paling cepat



berada di dinding bagian belakang diantara dinding lainnya. Sedangkan temperatur terendah kotak pendingin pakai beban hari ketiga dicapai pada posisi dinding depan bagian dalam.

Berdasarkan ketiga grafik Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 di atas data selama tiga hari untuk kotak pendingin tanpa beban dan pakai beban, tiap-tiap dinding mengalami penurunan temperatur secara seragam yang disebabkan kalor yang diserap oleh heatsink dan diteruskan ke sisi dingin termoelektrik. Penurunan temperatur kotak pendingin menandakan kinerja termoelektrik berfungsi dengan optimal. Penambahan beban pendingin berupa air kemasan 600 ml mengakibatkan waktu temperatur ruang kotak pendingin menjadi sedikit lebih tinggi dibandingkan tanpa beban pendingin. Hal ini karena kalor yang diserap dari beban air dilepaskan ke ruang pendingin [12]. Menambahkan beban pendingin objek mengakibatkan temperatur akhir yang dicapai lebih tinggi [11][20]. Penurunan temperatur yang relatif kecil tergantung daya yang diberikan. Modul surya yang digunakan sebagai penyuplai daya ke termoelektrik bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya. Jika intensitas cahaya matahari mengalami penurunan kinerja kotak pendingin menjadi menurun karena daya yang diberikan berkurang. Berdasarkan data yang sudah didapat terjadi peningkatan temperatur yang relatif kecil dikedua kotak pendingin. Hal ini dipengaruhi faktor berkurangnya daya pada baterai, besarnya tegangan (volt) dan kecilnya arus (ampere) atau sebaliknya, beban kalor, kipas dan heatsink yang tidak bekerja secara maksimal sebagai pembuang kalor [8][11][21].

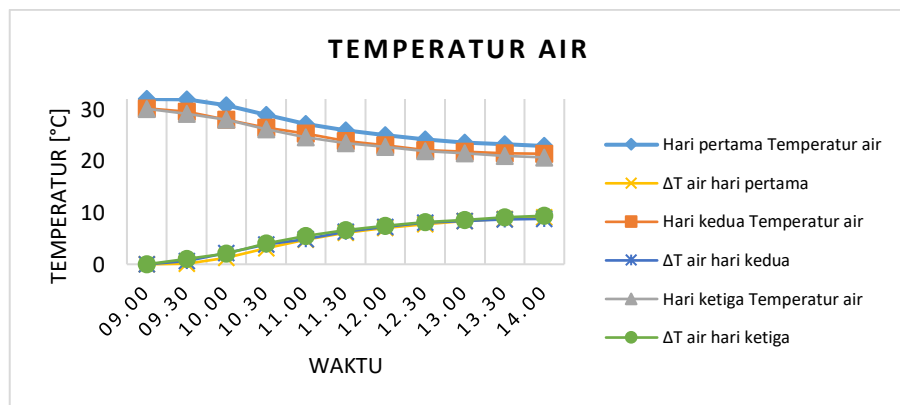
Grafik temperatur ruang tengah kotak pendingin dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



**Gambar 8.** Temperatur ruang tengah kotak pendingin

Berdasarkan Gambar 8 di atas perubahan temperatur ruang kotak pendingin tanpa beban dan pakai beban mengalami penurunan temperatur yang signifikan. Temperatur terendah dicapai di hari ketiga pada kotak pendingin tanpa beban dan pakai beban. Mengamati pola grafik di atas ruang tengah tanpa beban memiliki temperatur yang lebih rendah dibandingkan ruang tengah pakai beban. Waktu pendinginan yang naik turun dikarenakan perbedaan temperatur sehingga nilai temperaturnya berubah secara teratur maupun acak. Pada ruang tengah dengan beban pendingin terjadi peningkatan temperatur secara teratur karena ada objek pendingin yang perlu didinginkan. Objek pendingin di dalam kotak pendingin akan melepaskan kalor ke udara yang menyebabkan temperatur ruangan menjadi lebih tinggi [11]. Pengujian yang dilakukan selama tiga hari menunjukkan pola garis ruang tengah tanpa beban memiliki kecenderungan yang sama dan ruang tengah pakai beban juga memiliki kecenderungan yang sama.

Grafik temperatur beban air kemasan 600 ml dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



**Gambar 9.** Temperatur air selama pengujian

Perubahan temperatur air pada Gambar 9 di atas selama tiga hari terlihat penurunan temperatur yang signifikan, menghasilkan grafik yang menurun secara perlahan. Grafik temperatur akhir dan  $\Delta T$  air menunjukkan pola yang konsisten dengan durasi penelitian. Temperatur akhir pada pukul 14.00 WIB menampilkan  $\Delta T$  air yang lebih tinggi, menandakan bahwa heatsink bagian dalam mampu menyerap lebih banyak kalor yang ada pada air, sehingga temperatur air lebih rendah dibandingkan temperatur sebelumnya. Air yang ada di dalam kotak semakin lama didinginkan temperaturnya semakin dingin, maka  $\Delta T$  airnya semakin tinggi. Semakin besar kalor yang dilepas pada objek beban pendingin, maka semakin kecil temperatur akhir yg dicapai oleh objek tersebut [11][20]. Penurunan temperatur air kemasan 600 ml mencapai titik terendahnya pada hari ketiga pukul 14.00 WIB.

Perhitungan beban kalor keseluruhan pada kotak pendingin selama tiga hari dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Total beban kalor keseluruhan selama tiga hari

qc					
Hari pertama		Hari kedua		Hari ketiga	
Pakai beban [W]	Tanpa beban [W]	Pakai beban [W]	Tanpa beban [W]	Pakai beban [W]	Tanpa beban [W]
142.83	132.30	173.18	156.97	167.29	164.56

Perhitungan COP (*coefisen of performance*) sistem pendingin termoelektrik diapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** COP kotak pendingin selama tiga hari pengujian

COP					
Hari pertama		Hari kedua		Hari ketiga	
Pakai beban	Tanpa beban	Pakai beban	Tanpa beban	Pakai beban	Tanpa beban
1.097	1.181	1.305	1.487	1.161	1.572

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil simpulan bahwa, koefisien kinerja (COP) tertinggi yang dicapai pada kotak pendingin pakai beban sebesar 1,305 dan COP kotak pendingin tanpa beban dicapai sebesar 1,572. Hal ini disebabkan COP yang dipengaruhi oleh qc (total beban kalor keseluruhan).

Temperatur terendah yang dicapai ruang tengah kotak pendingin pakai beban sebesar 20,3°C. Temperatur terendah yang dicapai ruang tengah kotak pendingin tanpa beban pendingin sebesar 19,7°C. Temperatur ruang tengah kotak pendingin tanpa beban memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan dengan beban pendingin. Hal ini dikarenakan adanya kalor yang dilepaskan oleh objek tersebut ke ruang pendingin sehingga menghasilkan peningkatan temperatur.

Pada beban pendingin objek berupa air kemasan 600 ml dengan pengujian selama tiga hari, temperatur terendah yang dicapai sebesar 20,7°C. Dalam hal ini dapat dikatakan, bahwa kotak pendingin mampu mendinginkan air dengan volume 600 ml sampai temperatur 20,7 °C.

## REFERENSI

- [1] L. Diana, A. G. Safitra, M. S. Firmansyah, and M. P. Zinedine, "Experimental Study of Artificial Solar Air Heater Using Trapezoidal Wave Plate," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 4, no. 2, pp. 135–148, 2019, doi: 10.21070/r.e.m.v4i2.806.
- [2] Sekretariat Kabinet RI, "Peraturan Presiden Republik Indonesia," in *Lampiran 1 Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional*, 2017, pp. 20–23. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/68772>
- [3] T. Rahajoeningroem and I. Jatnika, "Sistem Pendingin Otomatis Panel Surya untuk Peningkatan Daya Output Berbasis Mikrokontroler," *Telekontran*, vol. 10, no. 1, pp. 69–77, 2022, doi: 10.34010/telekontran.v10i1.4712.
- [4] R. Rifky and Y. Sirodz, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC)," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2020, [Online]. Available: <http://103.75.102.195/index.php/teknobiz/article/view/1359>
- [5] T. Maulana, T. Azuar Rizal, and Nazaruddin, "Rancang Bangun dan Evaluasi Kinerja Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik," *JURUTERA - J. Umum Tek. Terap.*, vol. 8, no. 01, pp. 1–10, 2021, doi:



- 10.55377/jurutera.v8i01.4473.
- [6] E. Yudiyanto, S. Adiwidodo, and R. N. A. Takwim, "Pemanfaatan Peltier sebagai Sistem Pendinginan untuk Medicine Cooler Box," in *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*, 2020, pp. 213–218. [Online]. Available: <https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/prosiding/article/view/1022>
- [7] M. Munawir, M. N. Sasongko, and N. Hamidi, "Kinerja Thermoelectric pada Kotak Pendingin Berdasarkan Rangkaian Thermoelectric dan Putaran Fan Wind Tunnel," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 27–40, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.4.
- [8] G. Khusnun Naufal and M. Amiruddin, "Rancang Bangun Cooler Box Termoelektrik dengan Air Sterilizer sebagai Tempat Pengiriman Air Susu Ibu (ASI)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, pp. 87–96, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.32497/jrm.v14i3.1637>.
- [9] M. Diki, C. F. Hadi, R. F. Lestari, and R. Nalandari, "Pemanfaatan Termoelektrik sebagai Sumber Energi Terbarukan," *J. Zetroem*, vol. 4, no. 1, pp. 23–25, 2022, doi: 10.36526/ztr.v4i1.1913.
- [10] M. Ahsani and A. Prijo Budijono, "Rancang Bangun Pendingin Ruangan Portable dengan Memanfaatkan Efek Perbedaan Suhu pada Thermo Electric Cooler (TEC)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 03, no. 01, pp. 100–109, 2015.
- [11] I. A. Sormin, I. B. P. Gunadnya, and I. G. N. A. Aviantara, "Performance of Cooler Box Using TEC1-12715 On Various Cooling," *J. Beta (Biosistem Dan Tek. Pertanian)*, vol. 11, no. 1, pp. 29–37, 2023, [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/beta>
- [12] A. Aziz, J. Subroto, and V. Silpana, "Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik sebagai Media Pendingin Kotak Minuman," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, 2015, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/778>
- [13] F. Salsabila, B. P. Manunggal, and I. Yuliani, "Pembuatan Cooling Box untuk Penyimpanan Vaksin Sinovac Berbasis Thermoelectric," in *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2021, no. 12, pp. 907–914. [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2817/2208>
- [14] R. I. Mainil, A. Aziz, and A. Kurniawan M., "Penggunaan Modul Thermoelectric sebagai Elemen Pendingin Box Cooler," in *Seminar Nasional Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri XIV*, 2015, pp. 44–49.
- [15] W. Wang, Z. Chen, X. Zhang, L. Chen, and S. Guan, "Study on Fabrication and Properties Of The Aluminum Foil/Bubble Composite," in *ICCM International Conferences on Composite Materials*, 2017, vol. 21, no. 7, pp. 20–25.
- [16] H. A. Maddah, "Polypropylene as a Promising Plastic: A Review," *Am. J. Polym. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, 2016, doi: 10.5923/j.ajps.20160601.01.
- [17] Ryanuargo, S. Anwar, and S. P. Sari, "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 4, pp. 180–185, 2014, doi: 10.17529/jre.v10i4.1108.
- [18] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer : Fundamentals & Applications*, Fifth Edit., no. 15. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2015.
- [19] Hengki, M. Rahmat, and S. P. Sutisna, "Analisa Efisiensi Energi Alat Pendingin Portable di Sepeda Motor," *Mekanika*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unugha.ac.id/index.php/me/article/view/384>
- [20] 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.
- [21] T. Uhsg, Z. Lubis, and T. B. Sitorus, "Analisa Kinerja Sistem Pendingin Peltier yang Menggunakan Sel PV dengan Sumber Energi Radiasi Matahari," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 9, no. 2, pp. 166–173, 2017, [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem>

Halaman ini sengaja dikosongkan  
(This page is intentionally left blank)