

ANALISIS EKSPERIMENTAL PERFORMA *COOLER BOX* TERMOELEKTRIK UNTUK PENYIMPANAN RAJUNGAN

Crispin Verdianza¹⁾, Harto Tanujaya²⁾ dan Steven Darmawan³⁾

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta
e-mail: ¹⁾crispin.515190031@stu.untar.ac.id, ²⁾hartotan@ft.untar.ac.id, ³⁾stevend@ft.untar.ac.id,

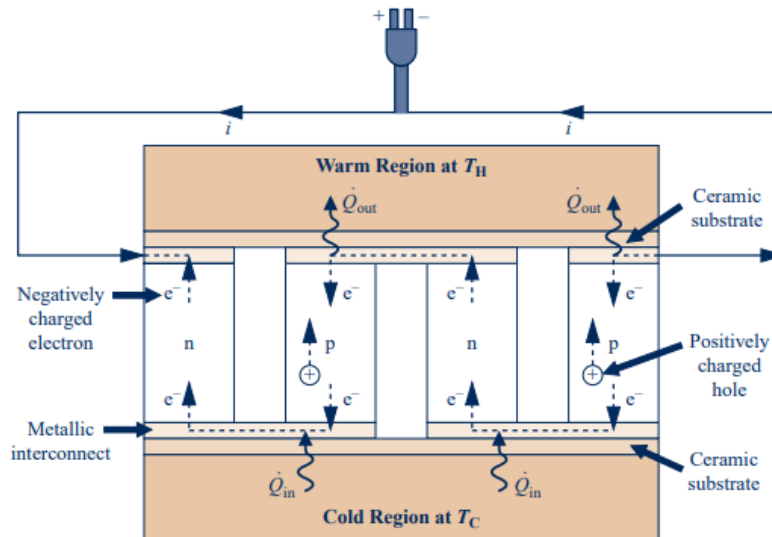
Abstract: In seafood processing, it is known as the dangerous temperature area that ranges from 57°C to 5°C to avoid the active development of spoilage bacteria, hence the need for refrigeration to avoid spoilage. Thermoelectric cooler boxes are widely used in the food and beverage industry because they have a light mass compared to small-sized refrigerators. The thermoelectric cooler box uses 6 Peltier elements arranged in cascade and parallel electrically in a box that has a capacity of 27 liters. In determining the performance of the cooler box, testing was carried out using a cooling load in the form of mineral water. The cooling load consists of one piece of unheated 600 mL mineral water in a bottle, three pieces of unheated 220 mL mineral water in a glass package, and 600 mL mineral water heated to a temperature of 58°C. Based on the result of the cooler box with 600 mL hot water in 120 minutes test, the smallest temperature change on the cold side heatsink occurred from 22°C to 7.7°C. Meanwhile the largest temperature change on the cold side heatsink occurred on 600 mL of unheated water test, from 23.2°C to 3°C. The largest heat transfer occurs in tests with 600 mL hot water, with heat transfer value 104432.64 Joule. The smallest heat transfer occurs in testing with 600 mL of unheated water, with heat transfer value 10584 Joule.

Keywords: Cooler box, Thermoelectric, Cascade, Temperature, Heat Transfer.

PENDAHULUAN

Rajungan merupakan salah satu jenis hasil tangkapan laut yang mudah ditemukan di Indonesia, khususnya di Pulau Sumatera. Untuk menjaga kesegaran hasil tangkapan laut, nelayan membutuhkan alat penyimpanan yang dapat menjaga temperatur. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan kotak pendingin atau *cooler box* untuk menyimpan hasil tangkapan laut tersebut. Dalam pendinginan makanan laut, terdapat istilah zona temperatur bahaya (*Temperature Danger Zone*) yang memiliki rentang 57°C sampai 5°C. Pendinginan makanan laut harus dilakukan dibawah zona temperatur bahaya untuk menghindari berkembangnya bakteri dalam makanan [1]. Hingga saat ini, *cooler box* yang paling umum dijumpai adalah *cooler box* konvensional. Akan tetapi, *cooler box* konvensional yang masih menggunakan balok es sebagai elemen pendingin, memiliki kelemahan dalam segi berat, dimensi, dan efisiensi. Sehingga, pendingin termoelektrik atau *thermoelectric cooler* (TEC) dapat digunakan sebagai elemen pendingin alternatif untuk menggantikan balok es, karena pendingin termoelektrik memiliki ukuran yang kecil, ringan, dan dapat digunakan berulang-ulang. Modul pendingin termoelektrik memiliki dua material semikonduktor yang berbeda dan bekerja dengan memanfaatkan efek Peltier untuk menghasilkan fluks panas dari listrik yang melalui kedua semikonduktor.

Penelitian tentang modul termoelektrik sebagai elemen pendingin telah banyak dilakukan sebelumnya, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Jaziri [2], Devrani [3], Aziz [4], Akmal [5], Gultom [6]. Dalam penelitian-penelitian tersebut, digunakan satu hingga tiga buah modul Peltier yang disusun dengan konfigurasi tertentu dan menggunakan box dengan volume tidak lebih dari 13,8 L. Dari penelitian tersebut, temperatur terendah yang mampu dicapai adalah 14°C dengan waktu pengujian 36 menit, menggunakan dua buah modul Peltier dan volume *cooler box* 13,8 L [4]. Sedangkan, hasil tangkapan laut (*seafood*) harus disimpan sampai dengan temperatur dibawah 5°C agar dapat dikonsumsi dengan baik. Volume *cooler box* untuk penyimpanan *seafood* juga membutuhkan volume penyimpanan yang cukup besar, seperti 27 L. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji performa rangkaian pendingin termoelektrik menggunakan enam buah modul Peltier tipe TEC1-12706 yang disusun secara *cascade* untuk mendinginkan *cooler box* 27 L yang kemudian dapat dipakai untuk menyimpan rajungan.

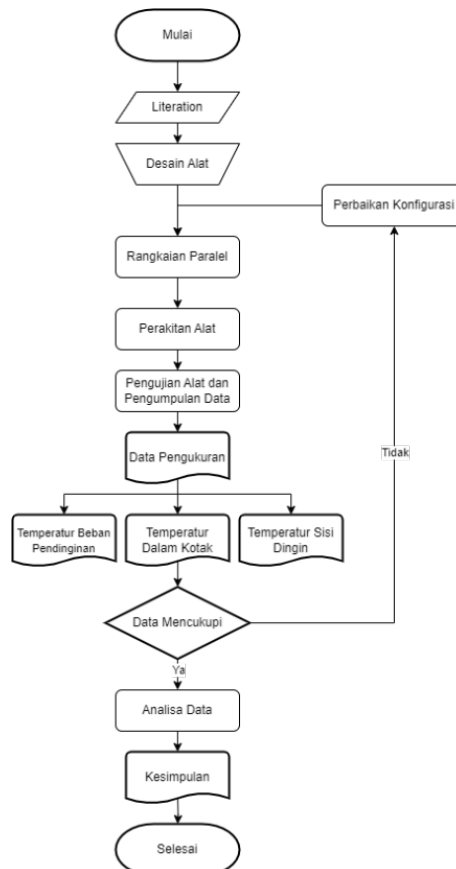


Gambar 1. Skematik pendingin termoelektrik [7]

METODE PENELITIAN

Eksperimen

Penelitian dilakukan secara eksperimental dan bertujuan untuk mengetahui berapa temperatur terendah yang dapat dicapai beban pendinginan setelah pendinginan selama 120 menit. Serta mendapatkan nilai perpindahan kalor yang terjadi pada beban pendinginan setelah 120 menit. Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan termokopel dan dilakukan pada tiga titik, yaitu pada sisi dingin *heatsink*, pada ruangan kotak pendingin, dan pada beban pendinginan. Pengukuran temperatur dicatat dengan interval waktu 10 menit. Setelah data sudah direkam, data diolah dan dianalisa lebih lanjut. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Spesifikasi Sistem

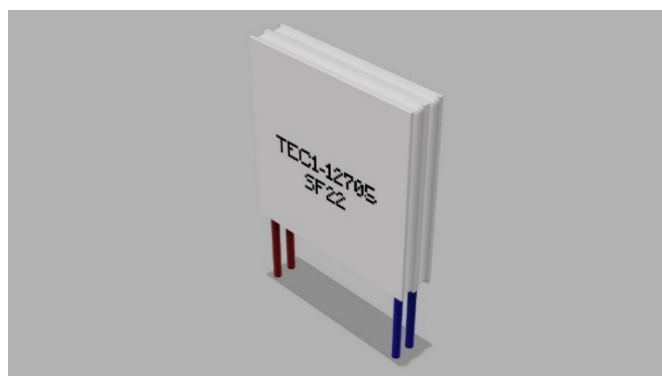
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi:

1. Satu buah kotak pendingin polistiren
2. Enam buah elemen Peltier TEC1-12706
3. Enam buah *heat sink*
4. Lima buah *cooling fan*
5. Satu buah unit *power supply* DC 12 V, 40 A
6. Satu unit termokopel tipe K (Uni-T UT320)
7. Jam
8. Satu buah air mineral kemasan botol 600 mL
9. Tiga buah air mineral kemasan gelas 220 mL
10. Air panas 58°C 600 mL

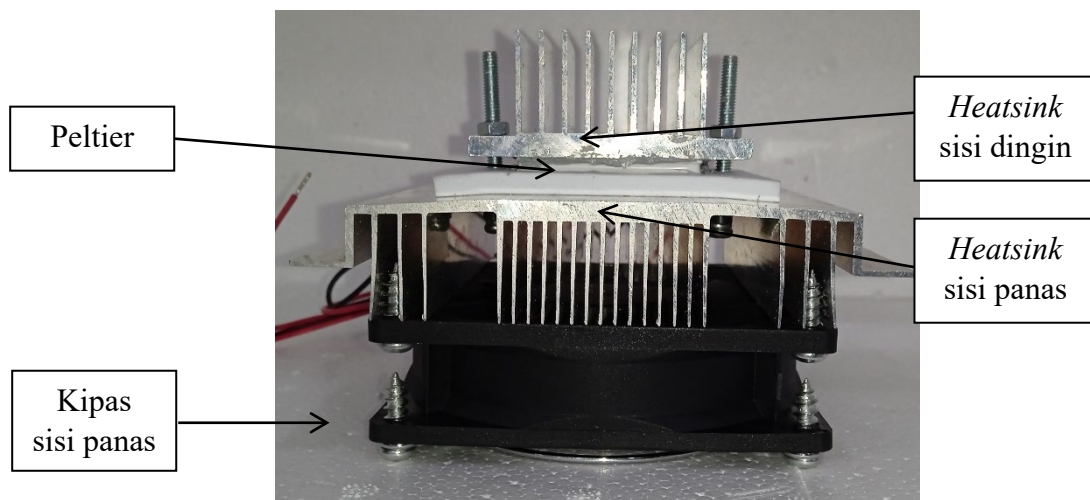
Kotak pendingin yang dipakai dalam penelitian ini adalah kotak polistiren dengan kapasitas 27 L, serta dimensi dalam 430 x 275 x 235 mm dan ketebalan 20 mm. Untuk elemen pendinginan menggunakan enam buah modul Peltier, yang dimana untuk setiap dua buah modul Peltier akan disusun secara *cascade* seperti pada Gambar 4. Sehingga akan ada tiga buah modul termoelektrik *cascade*. Modul Peltier yang akan digunakan adalah modul Peltier tipe TEC1-12706 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi TEC1-12706 [8]

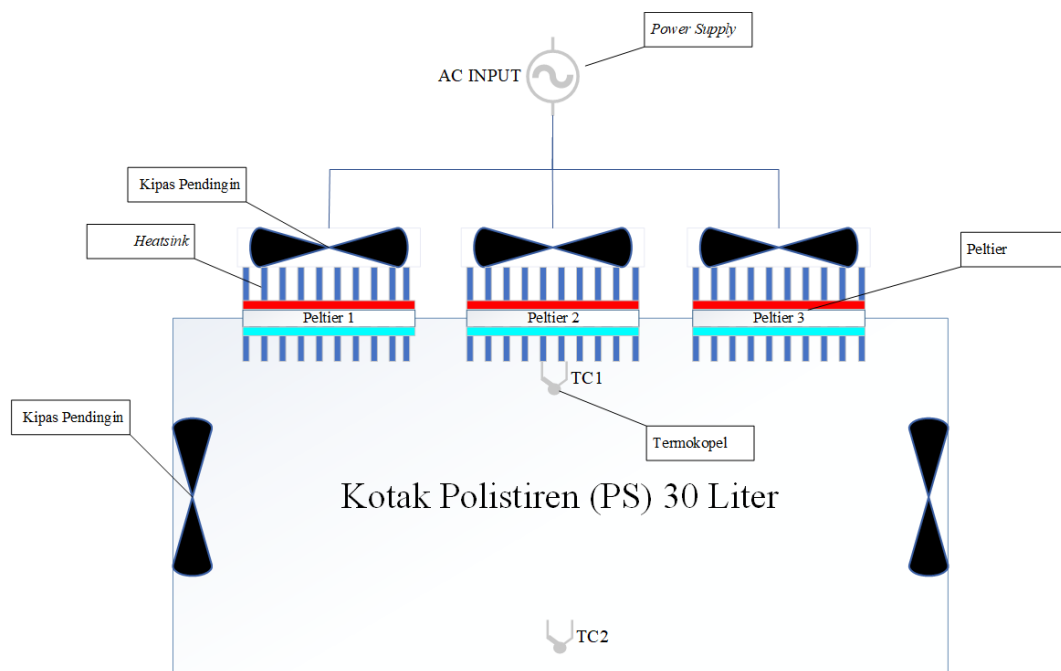
Model	TEC1-12706
Dimensi	40 × 40 × 3.7 mm
$\Delta T_{\max}$	>62 °C
<i>Internal Resistance</i>	2.0–2.2 Ω
<i>Voltage</i>	DC 12 V
<i>Working Condition</i>	55–83 °C
$V_{\max}$	DC 15.5 V
<i>Storage Condition</i>	40–60 °C
$I_{\max}$	6 A
<i>Single Weight</i>	23 g
<i>Working Current</i>	4.5 A – 5 A
$Q_{c\max}$	60 W
<i>Life Expectance</i>	>300,000 jam



Gambar 3. Dua buah modul peltier disusun secara *cascade*



Gambar 4. Susunan termoelektrik *cascade*



Gambar 5. Skema konfigurasi kotak pendingin

Kemudian, *heat sink* yang digunakan adalah sebanyak enam buah, yang terdiri dari tiga buah aluminium *heat sink* besar untuk sisi panas dan tiga buah aluminium *heat sink* kecil untuk sisi dingin (*cold sink*). Untuk *heat sink* sisi panas memiliki dimensi $100 \times 100 \times 2,5$ mm. Sedangkan, *cold sink* memiliki dimensi $40 \times 40 \times 2,5$ mm. *Cooling fan* yang digunakan adalah *cooling fan* 12 V dan juga terdiri atas tiga buah *cooling fan* untuk sisi panas dan dua buah *cooling fan* untuk sisi dalam kotak, untuk susunan kipas dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk pemasok daya (*power supply*) yang digunakan memiliki spesifikasi *output* arus DC 12 V, 40 A.

Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengambilan data melalui pengujian, data tersebut dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Analisis unjuk kerja *cooler box* meliputi beberapa variabel seperti temperatur, waktu, *cooling load* dan perpindahan kalor.

Persamaan beban pendinginan (*cooling load*)

Beban pendinginan dihitung untuk mencari jumlah kalor yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur pendinginan yang diinginkan.

$$P_{\text{kotak}} = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

$$P_{\text{air}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$P_{\text{total}} = P_{\text{kotak pendingin}} + P_{\text{air}} \quad (3)$$

Dimana P_{kotak} merupakan beban pendinginan untuk kotak pendingin (Joule), U merupakan transmisi termal bahan ($\text{W/m}^2\text{K}$), A merupakan luas permukaan (m^2), P_{air} merupakan beban pendinginan pada air (Joule), m merupakan massa air (kg), c_p merupakan kalor spesifik air (J/kg.K), ΔT merupakan perubahan temperatur (K).

Kalor yang dilepaskan oleh air (Q)

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4)$$

Dengan Q adalah kalor yang dilepas oleh air selama pendinginan (Joule), m adalah massa air (kg), c_p merupakan kalor spesifik air (J/kg.K), ΔT merupakan perubahan temperatur (K). Nilai perubahan temperatur dalam perhitungan ini, diperoleh melalui pengukuran temperatur terhadap waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Konfigurasi Kipas Modul Peltier *Cascade*

Sebelum memulai pengujian modul termoelektrik yang disusun secara *cascade* dan diberi beban pendinginan, dilakukan terlebih dahulu pengujian terhadap susunan atau konfigurasi kipas pendingin agar didapat susunan kipas pendingin yang terbaik untuk pendinginan. Konfigurasi kipas meliputi arah tiupan kipas terhadap *heatsink* yakni meniup udara ke arah *heatsink* (*blow*) atau menghisap udara dari *heatsink* (*suction*), kemudian posisi jarak bebas antara *heatsink* dan kipas (*clearance*). Pengujian untuk susunan kipas modul Peltier *cascade*, dilakukan tanpa beban pendinginan, hanya menggunakan 3 buah kipas di bagian sisi panas Peltier dan dilakukan selama 60 menit pertama. Dalam 60 menit, konfigurasi yang menghasilkan temperatur pendinginan ruangan terendah akan digunakan. Konfigurasi yang diuji ada lima macam, yakni:

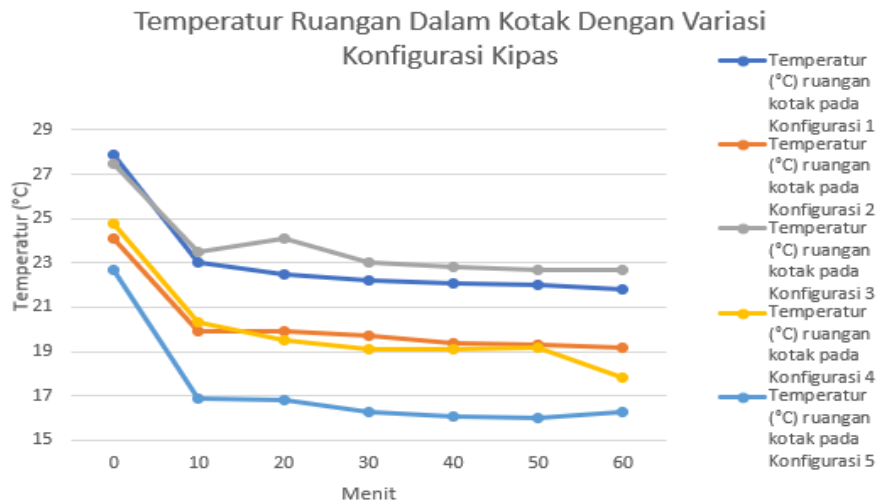
- Konfigurasi 1: Arah tiupan kipas *blow*, tanpa *clearance*.
- Konfigurasi 2: Arah tiupan kipas *blow*, *clearance* 10 mm.
- Konfigurasi 3: Arah tiupan kipas *suction*, *clearance* 10 mm.
- Konfigurasi 4: Arah tiupan kipas *suction*, tanpa *clearance*.
- Konfigurasi 5: Arah tiupan kipas *suction*, tanpa *clearance* dengan tambahan dua buah kipas dalam.

Berdasarkan hasil pengujian, didapat bahwa konfigurasi 5 memiliki nilai temperatur pendinginan terbaik untuk temperatur ruangan kotak pendingin. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Perhitungan Beban Pendinginan

Beban pendinginan yang digunakan dalam penelitian adalah air mineral dengan beberapa variasi. Variasi yang dimaksud adalah satu buah botol air mineral 600 mL dalam temperatur ruang, air mineral, tiga buah air mineral kemasan gelas 220 mL dalam temperatur ruang, dan air mineral 600 mL yang dipanaskan hingga 58°C . Kotak pendingin juga memiliki beban pendinginan tersendiri, untuk beban pendinginan kotak pendingin tanpa isi adalah sebagai berikut.

$$P_{\text{kotak pendingin}} = 65,787 \text{ W}$$



Gambar 6. Perbandingan temperatur ruangan dalam kotak pendingin dengan variasi konfigurasi kipas

Kemudian untuk beban pendinginan air, dapat dihitung dengan persamaan kalor sensibel air. Beban pendinginan untuk air 600 mL adalah sebagai berikut.

$$P_{air} = 50400 \text{ Joule}$$

Dengan waktu pendinginan 2 jam atau 120 menit, maka nilai beban pendinginan untuk air adalah sebagai berikut.

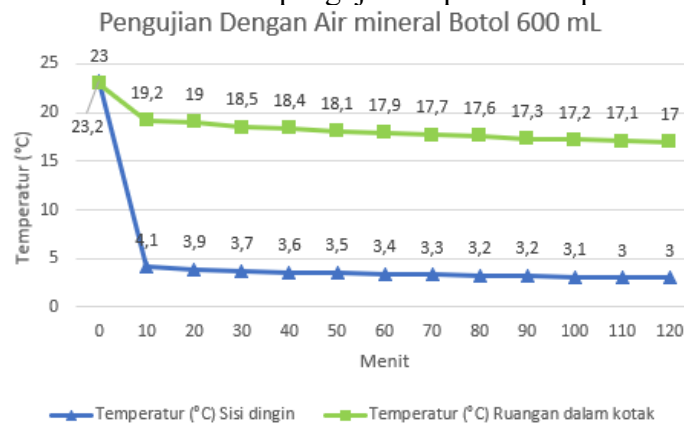
$$P_{air} = \frac{50400 \text{ Joule}}{7200 \text{ detik}} = 7 \text{ Watt}$$

Setelah didapat nilai beban pendinginan kotak pendingin dan air, maka nilai beban pendinginan total pada pengujian menjadi:

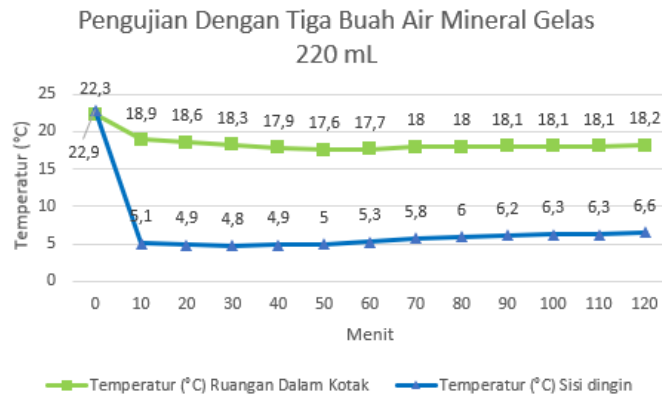
$$P_{total} = P_{kotak pendingin} + P_{air} = 72,787 \text{ Watt atau } 73 \text{ Watt}$$

Pengujian Modul Peltier Cascade dengan Beban Pendingin

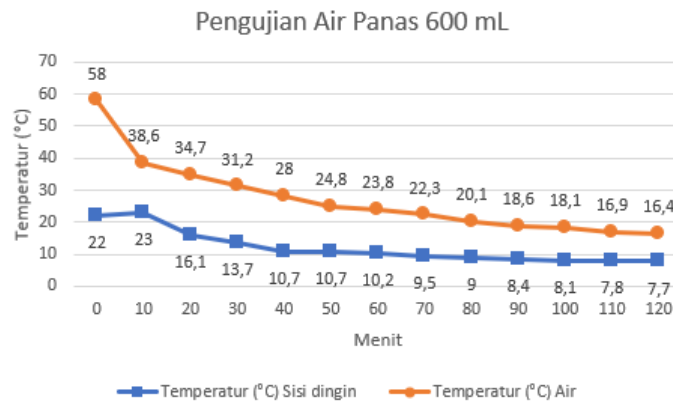
Pengujian dilakukan terhadap tiga buah variasi beban pendinginan, yakni satu botol air mineral 600 mL temperatur ruangan, tiga gelas air mineral 220 mL temperatur ruangan, dan air panas 600 mL temperatur 58°C. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7,8 dan 9.



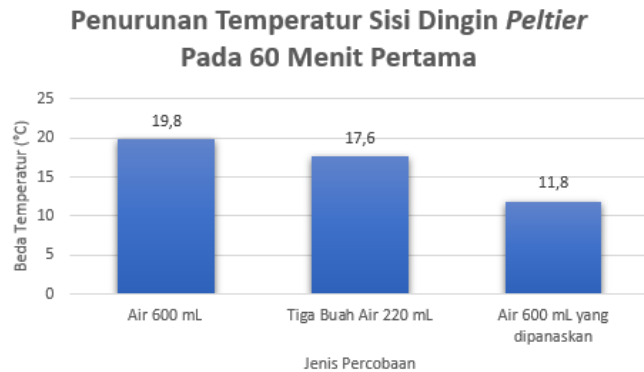
Gambar 7. Hasil pengukuran temperatur dengan air mineral botol 600 mL



Gambar 8. Hasil pengukuran temperatur dengan air mineral gelas 220 mL



Gambar 9. Grafik pengujian air panas 600 mL



Gambar 10. Perbandingan nilai penurunan temperatur sisi dingin peltier

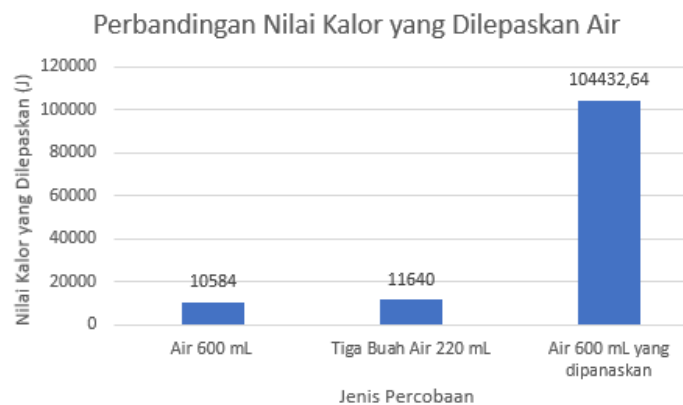
Dengan melihat perbandingan penurunan temperatur sisi dingin Peltier seperti pada Gambar 10, air mineral 600 mL mengalami penurunan temperatur yang paling besar untuk 60 menit pertama dan air panas 600 mL mengalami penurunan temperatur yang paling kecil. Fenomena serupa dapat terjadi dikarenakan, air panas melepas nilai kalor yang lebih besar dan memiliki temperatur awal yang lebih tinggi daripada kedua percobaan lainnya yang menggunakan air mineral bertemperatur ruangan. Sehingga, sisi dingin Peltier perlu bekerja lebih lama dalam menyerap panas yang dilepaskan oleh air panas. Dengan asumsi daya yang dihasilkan Peltier sama dan waktu percobaan yang sama, penurunan temperatur sisi dingin yang terjadi pada percobaan air panas lebih kecil daripada percobaan lainnya.

Namun apabila dilihat dari temperatur pada beban pendinginan, percobaan air panas menghasilkan temperatur akhir paling rendah yakni 16,4°C dalam 120 menit. Sedangkan dalam waktu yang sama, temperatur air kemasan botol 600 mL hanya menyentuh 18,2°C dan temperatur

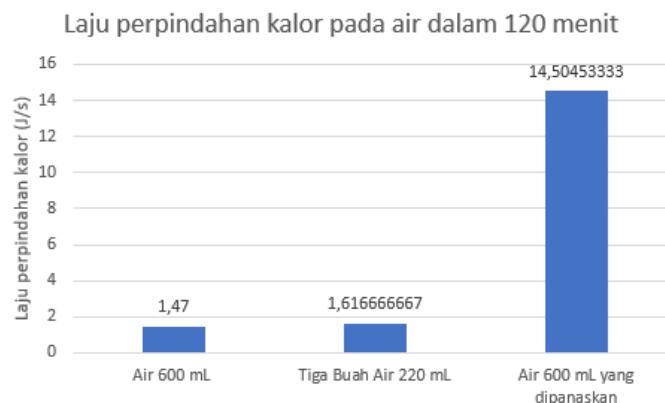
air kemasan gelas 220 mL menyentuh temperatur $18,7^{\circ}\text{C}$. Untuk fenomena seperti ini, dapat disebabkan oleh laju perpindahan kalor yang dimiliki oleh air mineral. Air panas memiliki laju perpindahan kalor yang cenderung lebih besar dibandingkan air mineral kemasan botol dan gelas, karena nilai kalor yang dilepas oleh air panas lebih besar dari air mineral temperatur ruangan. Sehingga dengan waktu yang sama dan laju perpindahan kalor yang lebih besar, temperatur air panas yang didinginkan tentu akan lebih rendah daripada temperatur air mineral kemasan botol dan gelas yang didinginkan.

Perpindahan Kalor pada Beban Pendingin

Perhitungan perpindahan kalor yang terjadi pada beban pendingin, dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai laju perpindahan kalor yang terjadi selama proses pendinginan. Nilai perpindahan kalor pada beban pendingin dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 11. Perbandingan nilai kalor yang dilepaskan air



Gambar 12. Laju perpindahan kalor pada air dalam 120 Menit

Berdasarkan Gambar 11 dan 12, semakin besar nilai kalor yang dilepas air maka semakin besar juga laju perpindahan kalor yang terjadi. Hal ini disebabkan karena nilai laju perpindahan kalor bergantung pada jumlah kalor yang dilepaskan oleh air dan waktu yang terpakai selama perpindahan kalor. Nilai laju perpindahan kalor berbanding lurus dengan nilai kalor yang dilepaskan, dan berbanding terbalik dengan waktu perpindahan kalor. Nilai perpindahan kalor yang terbesar terjadi pada percobaan air panas yakni 104432,64 Joule dalam 120 menit. Hal ini memiliki arti bahwa dalam proses pendinginan percobaan air panas, terjadi perpindahan kalor dengan laju perpindahan kalor sebesar 14,5 Joule tiap detiknya ($14,5 \text{ J/s}$). Sedangkan, perpindahan kalor terkecil terjadi pada percobaan air kemasan botol 600 mL dengan nilai 10584 Joule dalam 120 menit atau memiliki laju perpindahan kalor sebesar $1,47 \text{ J/s}$.

SIMPULAN

Berdasarkan pengukuran temperatur selama 120 menit, terdapat fenomena dimana pendinginan oleh modul termoelektrik *cascade* paling efektif pada 10 sampai 20 menit pertama. Perubahan temperatur pendinginan terbesar pada sisi dingin *heatsink* untuk 60 menit pertama terdapat pada pengujian beban pendingin air 600 mL yang tidak dipanaskan (19,8°C) dan perubahan temperatur pendinginan terkecil pada sisi dingin *heatsink* terdapat pada pengujian beban pendingin air panas 600 mL (11,8°C). Nilai kalor yang dilepaskan air paling besar terjadi pada pengujian dengan air panas 600 mL (104432,64 *Joule*) dan nilai terkecil terdapat pada pengujian dengan air 600 mL yang tidak dipanaskan (10584 *Joule*). Nilai penurunan temperatur pada sisi dingin Peltier berbanding terbalik dengan nilai kalor yang dilepaskan oleh beban pendinginan. Semakin besar kalor yang dilepas oleh beban pendingin, maka semakin kecil penurunan temperatur pada sisi dingin Peltier.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Island Department of Health and C. for Food Protection, "Time/Temperature Control for Safety (TCS) Foods."
- [2] N. Jaziri, A. Boughamoura, J. Müller, B. Mezghani, F. Tounsi, and M. Ismail, "A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications," *Energy Reports*, vol. 6, no. xxxx, pp. 264–287, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.12.011.
- [3] S. Devrani, R. Tiwari, N. Khan, K. Sankar, S. Patil, and K. Sridhar, "Enhancing the insulation capability of a vaccine carrier box: An engineering approach," *J. Energy Storage*, vol. 36, no. September 2020, p. 102182, 2021, doi: 10.1016/j.est.2020.102182.
- [4] A. Aziz, J. Subroto, and V. Silpana, "Aplikasi modul pendingin termoelektrik sebagai media pendingin kotak minuman," *J. Rekayasa Mesin Vol 10*, pp. 1–7, 2015.
- [5] M. Akmal and A. Aziz, "Pengaruh Jumlah Cascade dan Input Daya Terhadap Temperature Thermoelectric Cooling Box Portable," pp. 1–4, 2014.
- [6] R. N. Gultom, R. I. Mainil, and A. Aziz, "Pengujian Mesin Pendingin Minuman Portable Kapasitas 4,7 Liter Dengan Modul Termoelektrik Menggunakan Alumunium dan Tanpa Alumunium," *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 2, pp. 1–4, 2016.
- [7] M. J. Moran and H. N. Saphiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th Edition*. John Wiley and Sons Inc., 2011.
- [8] O. M. Lawal and Z. Chang, "Development of an effective TE cooler box for food storage," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 28, no. October, p. 101564, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101564.