

Optimalisasi Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik Berpendingin Air

Bayu Aji Girawan¹, Firman Ariyanto¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Cilacap

E-mail: bayuaji.girawan@politeknikcilacap.ac.id

Abstrak--Tingginya kebutuhan manusia akan sistem pendingin berakibat pada melonjaknya penggunaan refrigeran jenis hidrokarbon maupun fluorokarbon dari tahun ke tahun. Hidrokarbon dan fluorokarbon merupakan zat yang berbahaya karena dapat merusak lapisan ozon di stratosfer yang menyebabkan peningkatan sinar ultraviolet yang diterima oleh manusia di bumi sehingga berdampak buruk pada kesehatan. Sistem pendingin berbasis termoelektrik sebagai pompa kalor padat adalah salah satu solusi yang aman sebagai pengganti sistem pendingin hidrokarbon maupun fluorokarbon. Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen dari sebuah sistem pendingin berbasis termoelektrik dengan alat penukar kalor yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya. Penelitian akan difokuskan pada unjuk kerja sistem yang optimal terhadap tegangan dan debit aliran air sebagai fluida kerja. Dari hasil pengujian diperoleh sistem optimal pada konsumsi tegangan 6V dan arus 2.24A, pada debit laju aliran air 0.5 liter/menit. Adapun COP dari sistem pada saat itu adalah sebesar 0.86.

Kata kunci: Termoelektrik, pompa kalor padat, COP

Abstract--The need of refrigerator makes an increase in use of hydrocarbon and fluorocarbon each year. Hydrocarbons and fluorocarbons are hazardous substances that can make a damage on ozone in statosphere and increase in receive of ultraviolet on humans and give negative impact on health. Thermoelectric refrigeration as a solid state heat pump is a safe solution to substitute the used of hydrocarbons and fluorocarbons based refrigerator. The experiment is conducted to test a thermoelectric based refrigeration system which uses water as a working fluid. The result shows that refrigeration system will be optimum at 6V and 2.24A of electricity consumption, and 0.5 litre/minute of water flowrate. While Coefficient of Performance (COP) of the system is 0.86.

Keywords: Thermoelectric, solid state heat pump, COP

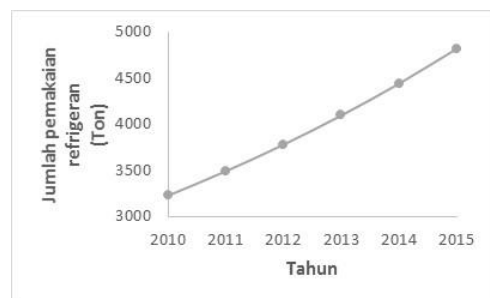
1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hidrokarbon merupakan salah satu refrigeran yang banyak digunakan pada sistem pendingin. Hidrokarbon merupakan zat yang berbahaya bagi ozon jika zat tersebut lepas ke atmosfer karena akan mengakibatkan kerusakan pada lapisan ozon di stratosfer yang menyebabkan peningkatan sinar ultraviolet yang diterima oleh manusia di bumi. Paparan sinar ultraviolet yang berlebihan diketahui dapat menyebabkan kanker kulit, katarak pada mata dan berbagai penyakit lainnya [1].

Jenis refrigeran lain yang banyak digunakan adalah adalah refrigeran yang mengandung bahan kimia jenis *chloro fluoro carbon* (CFC) yang didominasi oleh R-12 dan R-22. Maraknya penggunaan CFC karena memiliki sifat stabil, tidak mudah terbakar dan tidak beracun. Namun CFC memiliki ALT (*Atmosfer Life Time*) yang sangat besar yaitu 1. Artinya gas ini akan bertahan selama 15 tahun di atmosfer sebelum terurai. Dampak langsung dari hal ini adalah kerusakan lapisan ozon yang diperburuk dengan karbondioksida dari kendaraan bermotor sehingga menyebabkan pemanasan global

menjadikan efek rumah kaca semakin meningkat [2].



Gambar 1. Pemakaian refrigeran per tahun [2]

Tingginya kenaikan pemakaian refrigeran ini menjadi permasalahan jangka panjang yang harus segera dicari solusinya jika melihat dampak terhadap kesehatan dan lingkungan yang ditimbulkannya. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah mengganti sistem refrigerasi yang semula bergantung pada freon sebagai refrigeran dengan pompa kalor padat (*solid state heat pump*). Pompa kalor padat relatif aman digunakan karena tidak menggunakan cairan ataupun zat kimia yang berbahaya bagi lingkungan serta mudah dalam perawatannya.

Hal ini karena pompa kalor padat tidak banyak menggunakan komponen yang bergerak.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis performa sebuah sistem pendingin dengan pompa kalor padat berbasis termoelektrik, dengan menggunakan air sebagai fluida kerja. Dari hasil penelitian akan dianalisa *Coefficient of Performance* (COP) dan temperatur yang optimal dari sistem.

Banyak penelitian yang telah dilakukan tentang mesin pendingin. Widiyanto dkk [3] melakukan penelitian tentang uji coba peti ikan berpendingin untuk pedagang ikan keliling. Peti ikan berbentuk kotak dengan volume 33 liter yang mempunyai dinding dalam terbuat dari aluminium dan insulator dari poliuretan. Sistem pendingin dalam peti penyimpanan ikan menggunakan pendingin termoelektrik sebanyak 2 buah, menggunakan *heatsink* pada sisi dingin dan *heatpipe* pada sisi panas termoelektrik, memanfaatkan sumber listrik aki sepeda motor bertegangan 12V dan arus sebesar 3,5 A. Percobaan diawali dengan pengamatan suhu ruang peti ikan dalam kondisi kosong tanpa ikan yang dilakukan tiap 10 menit selama 2 jam. Dari hasil uji coba diperoleh temperatur yang dapat dicapai pada peti dalam kondisi kosong mencapai 12 °C pada 1 jam pertama, kemudian menjadi 11,1 °C pada 1 jam berikutnya. Temperatur tersebut dicapai pada kondisi suhu lingkungan 27 °C.

Mainil dkk [4] melakukan penelitian tentang penggunaan termoelektrik sebagai element pendingin kotak pendingin. Dimensi dari kotak pendingin adalah 13.8 liter, menggunakan 2 buah modul termoelektrik tipe TEC1-12706. *Heat exchanger* pada sisi dingin dan sisi panas termoelektrik menggunakan tipe *heatsink* dan kipas. Dari hasil pengujian diperoleh temperatur akhir yang dicapai pada adalah 14.6 °C dalam waktu 36 menit dengan beban berupa air 2100 ml.

Putra [5] melakukan rancang bangun kotak pendingin berbasis termoelektrik untuk penyimpanan vaksin dan obat-obatan. Volume kotak yang akan didinginkan adalah 4.8 liter, menggunakan 4 buah termoelektrik dengan daya total 42 watt. Pengujian dilakukan menggunakan beban berupa urine sebanyak 500, 250 dan 100 ml, dengan temperatur akhir yang dicapai pada kotak pendingin dengan beban tersebut secara berturut-turut adalah 18.7, 18.7 dan 18.4 °C. Sedangkan temperatur yang dicapai pada saat kotak tanpa beban adalah sebesar 18.4 °C.

Nulhakim [6] melakukan penelitian untuk menguji unjuk kerja pendingin ruangan berbasis termoelektrik. Alat ini menggunakan 2 buah termoelektrik tipe TEC1-12706 dengan *heatsink* dan kipas pada sisi dingin dan panas termoelektrik. Pengujian dilakukan selama 30 menit dengan variasi tegangan 3, 6, 9 dan 12 V.

Dari hasil pengujian diperoleh hasil alat ini dapat menghasilkan temperatur 20 °C setelah 30 menit dihidupkan.

Widiyanto dkk [7] melakukan penelitian tentang unjuk kerja pendingin peti berbasis termoelektrik. Pendingin yang digunakan adalah termoelektrik dengan *heatsink* pada sisi dingin dan *heatpipe* pada sisi panas termoelektrik. Unjuk kerja sistem diamati berdasarkan variasi tegangan input 12, 10 dan 8 V. Temperatur peti yang dihasilkan berdasarkan tegangan 12, 10 dan 8 V secara berturut-turut adalah 14, 16 dan 17 °C. Temperatur pada *heatsink* berdasarkan tegangan 12, 10 dan 8 V secara berturut-turut adalah 0.1, 3, dan 4 °C, sedangkan temperatur *heatpipe* 31, 30 dan 27 °C. Kebutuhan arus listrik sistem pendingin pada tegangan 12, 10 dan 8 V sebesar 6.3, 4.8, dan 3.8 A sedangkan nilai *cooling capacity* sebesar 12.5, 10.5 dan 10.5 W.

Wahyu dkk [8] melakukan rancang bangun dan pengujian alat pendingin dan pemanas berbasis termoelektrik. Alat ini menggunakan termoelektrik dengan spesifikasi daya 63 W sebanyak 4 buah. Dimensi dari ruangan pendingin ini adalah 100 L, dengan pendingin sisi panas termoelektrik menggunakan air dengan volume 30 L, dan sisi dingin termoelektrik menggunakan air dengan volume 2 L. Sirkulasi air pada sisi panas termoelektrik dimanfaatkan sebagai pemanas air. Variabel yang diukur dalam eksperimen ini adalah temperatur air pendingin dan debit pompa untuk menghitung *coefficient of performance* (COP). Dari hasil pengujian diperoleh *cooling capacity* yang dihasilkan oleh satu buah termoelektrik adalah sebesar 37 watt dan besarnya COP dari sistem adalah 0.58. Sistem dapat menghasilkan temperatur sebesar 13 °C pada menit ke 40.

Jugsujinda dkk [9] melakukan analisa tentang unjuk kerja sebuah lemari pendingin termoelektrik dengan dimensi 25 x 25 x 35 cm. Termoelektrik yang digunakan adalah TEC1-12705. Pengukuran dilakukan pada 10 titik di dalam lemari pendingin. Hasil dari pengukuran menunjukkan temperatur mengalami penurunan dari 30°C menjadi 20°C dalam waktu 1 jam. Sementara COP dari TEC dan lemari pendingin secara berturut-turut adalah 0.65 dan 3.0.

Tan [10] melakukan studi tentang sistem pendingin termoelektrik menggunakan tipe penukar kalor jenis radiator dan *shell and tube*. Hasil percobaan diperoleh COP untuk jenis radiator dan *shell and tube* secara berturut-turut adalah 0.5 dan 0.78.

Mirmanto dkk [11] melakukan penelitian tentang unjuk kerja kotak pendingin berbasis termoelektrik. Termoelektrik yang digunakan adalah TEC1-12706, menggunakan pendingin air pada sisi panas termoelektrik dengan variasi laju aliran massa 5, 10 dan 15 g/detik. Dari hasil penelitian diperoleh COP pada laju aliran massa

5, 10 dan 15 g/detik secara berturut-turut adalah 0.017, 0.016, 0.015.

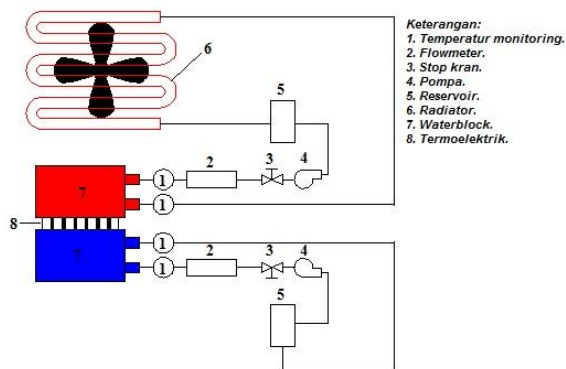
Ananta dkk [12] melakukan penelitian tentang unjuk kerja kulkas termoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel pada beban air 1500 ml. Dimensi kulkas adalah 40.8 x 32.6 x 53.8 cm, menggunakan 2 buah termoelektrik TEC1-12706 dengan konsumsi daya listrik masing-masing termoelektrik sebesar 12 W. Dari hasil pengujian diperoleh temperatur pada kulkas dengan susunan termoelektrik seri dan paralel secara berturut-turut sebesar 22.54 dan 23.10°C. Sedangkan COP untuk kulkas dengan susunan seri dan paralel secara berturut-turut adalah 0.45 dan 0.4.

Mirmanto dkk [13] melakukan penelitian tentang unjuk kerja kotak pendingin menggunakan penukar kalor *heatsink* dan kipas serta *heat pipe* dengan dua buah kipas. Termoelektrik yang digunakan adalah TEC2-25408. Dari hasil pengujian diperoleh COP tertinggi adalah 0.020 pada konsumsi daya listrik 1.04 W. COP tertinggi dihasilkan oleh sistem pendingin yang menggunakan *heat pipe* dengan dua buah kipas.

Ismael dkk [14] melakukan penelitian tentang disipasi kalor pada radiator. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap perubahan pitch pada fin radiator. Variasi pitch dari fin radiator yang digunakan adalah 2.5, 2.4, 2.3, 2.2 dan 2.1 mm. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa pitch yang lebih lebar pada radiator yaitu 2.5 mempunyai kemampuan disipasi kalor yang lebih baik.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan skema aparatus seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema aparatus

Sistem pendingin ini menggunakan termolektrik sebagai pompa kalor yang kedua sisinya terhubung dengan dua buah *waterblock*. Sistem tersebut bekerja dengan memanfaatkan air sebagai fluida kerja yang bekerja dalam sistem yang tertutup. Adapun spesifikasi alat yang

digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan

NAMA	SPEKIFIKASI
Termolektrik	TEC1-12706
Radiator	Bahan alumunium, panjang x lebar x tebal = 274 x 118 x 311 mm
Pompa	Max 3 liter/menit
Flowmeter	0.8 – 8 liter/menit
Temperatur monitor	Digital thermometer
Stop kran	Model ball valve
Waterblock	Alumunium Panjang x lebar = 40 x 40 mm
Reservoir	Diameter x tinggi = 50 x 240 mm
Kipas radiator	- Ukuran 120 x 120 mm - Tegangan 12 Volt DC

Pada tahap pengujian, terdapat beberapa variasi berupa:

1. Debit aliran air.
Debit aliran air yang divariasikan adalah debit aliran pada sisi panas termoelektrik. Adapun variasi debit aliran yang digunakan adalah 0.5, 1 dan 1.5 liter per menit (LPM). Pengaturan debit aliran air dilakukan melalui pengaturan stop kran.
2. Tegangan.
Variasi tegangan dilakukan pada termoelektrik dengan mengikuti standar tegangan adaptor yang tersedia di pasaran yaitu 6, 9 dan 12 Volt. Pada eksperimen ini digunakan *adjustable power supply* untuk suplai listrik pada termoelektrik.



Gambar 2. Aparatus eksperimen

Volume air yang digunakan pada sisi panas dan dingin adalah 0.3 liter. Temperatur diukur tiap 5

menit selama 30 menit. Pengaturan lain yang dilakukan pada aparatus berupa:

1. Kipas radiator
Kecepatan kipas radiator diatur konstan, mengikuti spesifikasi kipas dengan tegangan 12 V DC. Posisi kipas pada radiator adalah posisi menghisap.
2. Pompa air
Tegangan yang digunakan pada pompa air adalah 12 V DC, dengan arus 0.5 Ampere. Tegangan yang digunakan di atur konstan.

Laju perpindahan kalor yang dibuang dari sisi panas termoelektrik melalui radiator dapat dihitung menggunakan persamaan Cengel [15]:

$$Q_h = m_c C_{ph} (T_{hout} - T_{hin}) \tag{1}$$

Dimana:

- Q_h =kalor yang dibuang (Watt)
- m_c =laju aliran massa (kg/detik)
- C_{ph} =kalor jenis fluida kerja (J/kg.K)
- T_{out} =temperatur saluran keluar (K)
- T_{in} =temperatur saluran masuk (K)

Kapasitas pendinginan dari sistem dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_c = m_c C_{pc} (T_{cout} - T_{cin}) \tag{2}$$

Dimana:

- Q_c =kapasitas pendinginan (Watt)
- m_c =laju aliran massa (kg/detik)
- C_{pc} =kalor jenis fluida kerja (J/kg.K)
- T_{cout} =temperatur saluran keluar sisi panas termoelektrik (K)
- T_{cin} =Temperatur saluran masuk sisi dingin termoelektrik (K)

Besarnya laju aliran massa dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$m_c = \frac{\rho Q}{60} \tag{3}$$

Dengan:

- ρ =massa jenis fluida kerja (kg/liter)
- Q =debit aliran fluida kerja (liter/menit)

Sedangkan unjuk kerja sistem pendingin (COP) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$COP = \frac{Q_c}{P_{el}} \tag{4}$$

Dimana:

- P_{el} =Daya listrik yang digunakan (Watt)

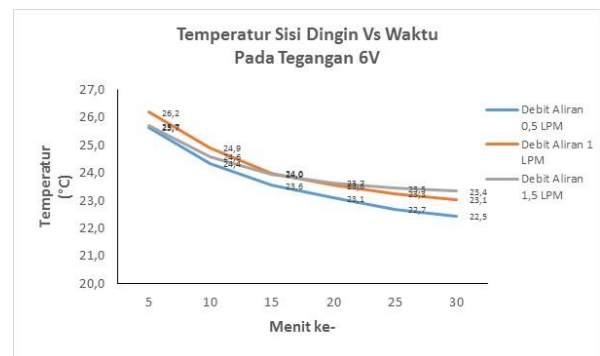
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Besarnya arus listrik pada penggunaan tegangan 6, 9 dan 12 V termoelektrik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Arus dan tegangan listrik.

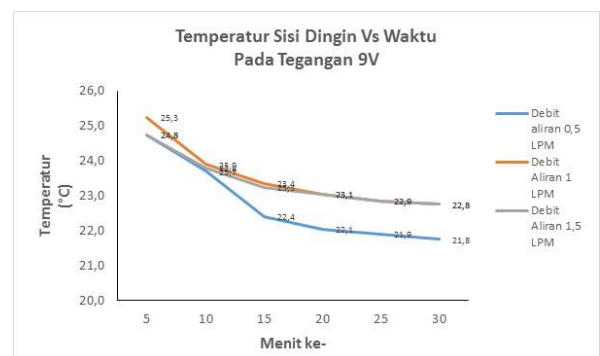
Tegangan (V)	Arus (A)
6	2.24
9	3.23
12	4.09

Temperatur pada sisi dingin pada tegangan 6V dapat dilihat pada Gambar 3. Pada tegangan 6V, temperatur sisi dingin pada menit ke-30 dengan debit aliran 0.5, 1 dan 1.5 liter/menit secara berturut-turut adalah sebesar 22.5, 23.1 dan 23.4°C. Dari hasil pengujian menunjukkan debit aliran fluida kerja radiator sebesar 0.5 liter/menit menghasilkan temperatur pendinginan terendah yaitu 22.5°C.



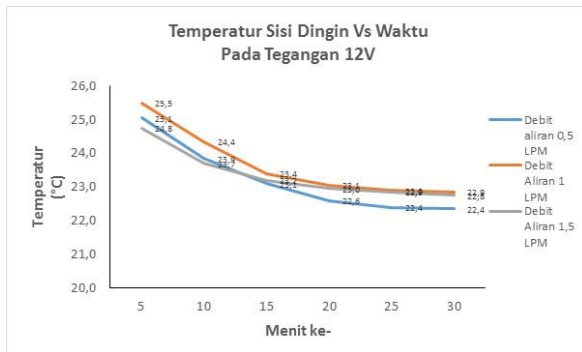
Gambar 3. Temperatur sisi dingin pada tegangan 6V

Hal ini berarti pada debit aliran 0.5 liter/menit, radiator dapat membuang panas lebih baik dibanding dengan debit aliran 1 dan 1.5 liter/menit.



Gambar 4. Temperatur sisi dingin pada tegangan 9V

Pada tegangan 9V, temperatur sisi dingin pada menit ke-30 dengan debit aliran 0.5, 1 dan 1.5 liter/menit secara berturut-turut adalah sebesar 21.8, 22.8 dan 22.8°C. Temperatur terendah dicapai oleh sistem dengan debit aliran 0.5 liter/menit yaitu 21.8°C.

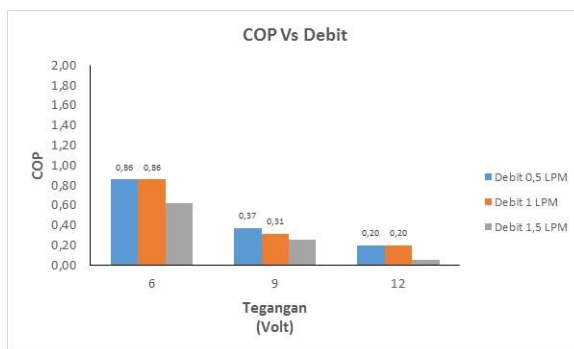


Gambar 5. Temperatur sisi dingin pada tegangan 12V

Pada tegangan 12 V, temperatur sisi dingin pada menit ke-30 dengan debit aliran 0.5, 1 dan 1.5 liter/menit secara berturut-turut adalah sebesar 22.4, 22.9 dan 22.8°C. Temperatur terendah dicapai oleh sistem dengan debit aliran 0.5 liter/menit.

Secara keseluruhan, sistem pendingin yang paling optimal jika dilihat dari temperatur terendah yang dapat dicapai adalah pada tegangan 9V dengan debit aliran radiator sisi panas 0.5 liter/menit. Namun demikian, perbedaan temperatur akhir pada 30 menit tidak terlalu signifikan.

Unjuk kerja sistem pendingin (COP) berdasarkan tegangan dan debit aliran fluida kerja radiator dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. COP sistem pendingin

Sistem pendingin yang bekerja pada tegangan 6V memiliki performa yang paling tinggi dibandingkan pada tegangan 9 dan 12 V. Secara keseluruhan, debit aliran fluida juga sangat mempengaruhi COP. Sistem dengan debit aliran fluida kerja 0.5 liter/menit mempunyai kinerja yang paling baik dibandingkan dengan debit 1 dan 1.5 liter/menit. Sedangkan sistem yang paling tinggi COP nya adalah sistem dengan tegangan 6V dan debit aliran fluida kerja radiator 0.5 liter/menit.

4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

a. Berdasarkan tegangan yang digunakan pada termoelektrik, sistem pendingin yang

menghasilkan temperatur paling rendah adalah sistem dengan tegangan 9V. Sedangkan sistem yang menghasilkan COP yang paling tinggi adalah sistem dengan tegangan 6V.

- b. Berdasarkan debit aliran fluida kerja radiator yang digunakan, sistem pendingin yang menghasilkan temperatur paling rendah dan COP paling tinggi adalah pada debit aliran fluida kerja 0.5 liter/menit.
- c. COP optimal didapatkan pada sistem dengan tegangan 6V pada debit aliran fluida kerja radiator 0.5 liter/menit, dimana COP pada saat itu adalah sebesar

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Isnanda, "No Title," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 44–48, 2005.
- [2] A. Maulana, "Penggunaan BPO (Bahan Perusak Ozon) di Provinsi Jakarta dari Sektor Refrigerator." Jakarta, 2010.
- [3] T. N. Widiyanto, W. Hermawan, and B. S. B. Utomo, "Uji Coba Peti Ikan Segar Berpendingin Untuk Pedagang Ikan Keliling," *JPB Perikan.*, vol. 9, no. 2, pp. 185–191, 2014.
- [4] R. I. Mainil, A. Aziz, and A. K. M, "Penggunaan Modul Thermoelectric sebagai Elemen Pendingin Box Cooler," in *Seminar Nasional Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*, 2015, pp. 44–49.
- [5] F. C. Putra and V. V. R. Repi, "Perancangan dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin dan Obat-obatan," *J. Ilm. GIGA*, vol. 18, no. 2, pp. 102–109, 2015.
- [6] L. Nulhakim, "Uji Unjuk Kerja Pendingin Ruang Berbasis Thermoelectric Cooling," *J. SIMETRIS*, vol. 8, no. 1, pp. 85–90, 2017.
- [7] T. N. Widiyanto and A. R. Hakim, "Performansi Pendingin Termoelektrik Alat Transportasi Ikan Segar pada Berbagai Tegangan Thermoelectric Performance of Refrigerated Fish Container at Various Voltages," *Agritech*, vol. 36, no. 4, pp. 485–490, 2016.
- [8] D. Wahyu, Andriyanto, Hanif, R. Sukma, and Y. Rosa, "Kajian Eksperimental Alat Multifungsi Bercatu Daya Termoelektrik," *J. ROTOR*, vol. Edisi Khus, no. 2, pp. 46–51, 2016.
- [9] S. Jugsujinda, A. Vora-Ud, and T. Seetawan, "Analyzing of thermoelectric refrigerator performance," *Procedia Eng.*, vol. 8, pp. 154–159, 2011.
- [10] G. Tan and D. Zhao, "Study of a thermoelectric space cooling system integrated with phase change material," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 86, pp. 187–198, 2015.
- [11] Mirmanto, R. Sutanto, and D. K. Putra,

- "Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Variasi Laju Aliran Massa Air Pendingin," *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 44–49, 2018.
- [12] H. Ananta, Y. A. Padang, and Mirmanto, "Unjuk kerja kulkas termoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel pada beban air 1500 ml," *Din. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 80–86, 2017.
- [13] Mirmanto, I. B. Alit, I. M. A. Sayoga, R. Sutanto, Nurchayati, and A. Mulyanto, "Experimental cooler box performance using two different heat removal units: A heat sink fin-fan, and a double fan heat pipe," *Front. Heat Mass Transf.*, vol. 10, pp. 1–7, 2018.
- [14] T. Ismael, S. B. Yun, and F. Ulugbek, "Radiator Heat Dissipation Performance," *J. Electron. Cool. Therm. Control*, vol. 6, pp. 88–96, 2016.
- [15] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.