

UNJUK KERJA KOTAK PENDINGIN PELTIER DENGAN UNIT PEMBUANG PANAS HEAT SINK FIN-FAN DAN SINGLE FAN HEAT PIPE

M. Mirmanto

Dosen
Universitas Mataram
Jurusan Teknik Mesin
m.mirmanto@unram.ac.id

Ida Bagus Alit

Dosen
Universitas Mataram
Jurusan Teknik Mesin
Alit.ib@unram.ac.id

Yudhi Anggani

Mahasiswa S1
Universitas Mataram
Jurusan Teknik Mesin
yudhianggani@gmail.com

Nowadays, technology is growing rapidly. A refrigerator is one of the technology applications by using heat transfer phenomena. However, the existing refrigerators in big size, need large power, and able to damage the ozone because most of the refrigerators utilize CFC. It is necessary to create a compact refrigerator with low energy needed and environmental friendly. In this study, a small cooler box of 24.5 cm x 20 cm x 28.5 cm with 2 modules Peltier SP 1848-27145 type arranged in cascade was used as a refrigerator. The data were logged by using the data logger DAQ MX 9714 NI that was connected to the PC by using LabView. In this experiment, 22 Watt of the electric power was used and 350 ml water was placed on the cooler box room. The results show that the temperature of the cooler box room with the single fan heat pipe is lower than the heat sink fin-fan. Furthermore, the temperature of the cooler box room with the single fan heat pipe where 350ml water were placed is lower than the cooler box room without the single fan. Moreover, the COP of the cooler box is significantly affected by the heat dissipation unit.

Keywords: Cooler box, thermoelectric, heat removal unit, heat pipe, COP.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap teknologi semakin berkembang pesat salah satunya yaitu alat pendingin seperti kulkas yang mempunyai fungsi untuk mengawetkan maupun menyegarkan makanan dan minuman. Namun, kulkas konvensional memiliki ukuran yang besar, membutuhkan daya yang besar, dan dapat merusak ozon karena sebagian besar kulkas mengandung *Chloro Fluoro Carbon* (CFC). Jika CFC terlepas ke udara maka berdampak pada pemanasan global karena zat tersebut dapat merusak lapisan ozon [1].

Untuk tidak mempercepat pemanasan global maka perlu adanya mesin pendingin yang tidak memakai CFC, misalnya adalah menggunakan termoelektrik. Pendingin termoelektrik lebih unggul dibandingkan dengan mesin pendingin konvensional yang menggunakan kompresi uap. Keunggulannya adalah tahan lama, mudah dioperasikan, kompak, ringan dan perawatan mudah [2, 3].

Meskipun pendingin termoelektrik memiliki keunggulan, pendingin termoelektrik juga memiliki kelemahan yaitu tidak cocok untuk mesin pendingin berkapasitas besar, dan *Coefficient of Performance* (COP) atau unjuk kerjanya masih sangat rendah seperti beberapa penelitian berikut. Penerapan sistem pendingin bertingkat pada kotak pendingin darah berbasis termoelektrik dan *heat pipe*. Nilai COP yang diperoleh hanya sekitar 0,14-0,29 [4]. Sedangkan, unjuk kerja kulkas termoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel dengan diberi air 1500 ml pada ruangan kulkas telah diteliti. Penelitian menunjukkan bahwa temperatur ruang kulkas yang dicapai untuk rangkaian seri sebesar 22,54°C dan untuk rangkaian paralel sebesar 23,10°C dengan percobaan dilakukan selama 14400 detik. Namun demikian COP yang dihasilkan juga masih rendah yaitu 0,45 untuk rangkaian seri dan 0,43 untuk rangkaian paralel [3].

Kemudian, alat multifungsi bercatu daya termoelektrik untuk pendinginan dan pemanasan diuji melalui penelitian eksperimental. Hasilnya adalah alat yang diteliti mampu mendinginkan ruangan bervolume 100 liter yang diisi dengan 2 liter air mineral hingga temperatur 13°C dalam waktu 40 menit, sedangkan temperatur air hangat yang dicapai sebesar 45°C. Tetapi COP penelitiannya juga masih rendah yaitu sebesar 0,58 [5]. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lebih intensif untuk menaikkan COP. Beberapa penelitian yang

telah dilakukan dilakukan untuk memperbaiki COP mesin pendingin termoelektrik. Namun COP yang didapatkan masih di bawah karena tidak menggunakan *heat pipe* sebagai unit pembuang panas pada sisi panas termoelektriknya [6, 7, 8]. Oleh sebab itu, penelitian ini mencoba menggunakan *heat pipe* untuk mengambil panas dari sisi panas termoelektrik dengan harapan panas yang dapat diambil lebih banyak sebab *heat pipe* memiliki kemampuan mentransfer panas yang lebih baik dibandingkan dengan *heat sink* biasa.

Melihat potensi mesin pendingin termoelektrik seperti pada paragraf di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh unit pembuang panas yaitu *heat sink fin-fan* (HSFF) dan *single fan heat pipe* (SFHP). Dengan menggunakan *single fan heat pipe* diharapkan COP kotak pendingin menjadi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan *heat sink fin-fan*.

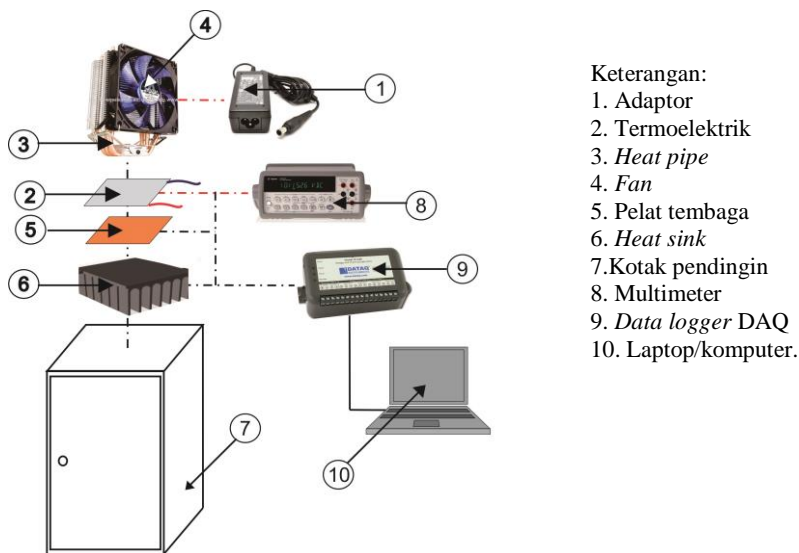
2. METODE DAN BAHAN

2.1 Fasilitas Penelitian

Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Alat penelitian terdiri dari *cooler box* yang terbuat dari *sterofoam*, termoelektrik, adaptor 12 V 6 A, *heat sink* dalam, *heat sink fin-fan*, *single fan heat pipe*, termokopel, *data logger* NI dan komputer. Bahan yang digunakan adalah udara yang berada di dalam ruangan *cooler box*, dan air 350 ml.

Kotak pendingin yang digunakan ukuranya 24, cm x 20 cm x 28,5 cm [9, 10]. Termoelektrik yang dipakai adalah tipe SP 1848-27145 dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 3,74 mm. Termokopel yang digunakan adalah tipe K yang telah dikalibrasi dengan akurasi sekitar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Sedangkan alat pencatat atau pembaca variabel yang diukur adalah *data logger* DAQ MX 9714 NI. Daya yang diterapkan pada termoelektrik diukur dengan multimeter memiliki akurasi $\pm 0,05\%$ *reading* DCV, dan akurasi $\pm 0,1\%$ *reading* DCA. Daya yang digunakan pada penelitian ini adalah sekitar 22 W. *Heat sink fin-fan* terdiri dari *heat sink* aluminium bersirip dan *fan*, dengan daya *fan* sekitar 1,56 W. Sedangkan *single fan heat pipe* terdiri dari 2 buah *heat pipe* dan 2 buah *fan* dengan daya 7,2 W.

Variabel yang diatur pada penelitian ini adalah unit pembuang panasnya dan air 350 ml, sedangkan variabel terikatnya adalah temperatur ruangan *cooler box*, temperatur dinding *cooler box* sebelah dalam dan luar, temperatur sisi dingin dan panas dari termoelektrik dan temperatur lingkungan.



Gambar 1. Skema instalasi alat penelitian

2.2 Data Reduksi

Data reduksi pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis hasil percobaan atau eksperimen. Perpindahan panas dari dalam ruangan *cooler box* dan panas yang masuk ke dalam *cooler box* merupakan beban panas yang harus dipindahkan dari dalam ruangan *cooler box* ke lingkungan. Panas udara yang berada di dalam *cooler box* dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 yang diambil dari [11].

$$Q_{u(i)} = \frac{m_{(i)} c_{p(i)} (T_{(i-1)} - T_{(i)})}{(t_{(i)} - t_{(i-1)})} \quad (1)$$

Dimana Q_u menyatakan laju aliran panas dari udara di dalam *cooler box* (W), m adalah massa udara (kg), c_p menyatakan panas jenis udara (J/kg K), T adalah temperatur udara atau ruangan *cooler box* (°C), dan t adalah waktu lamanya *cooler box* beroperasi (s).

Sebagai contoh misalkan *cooler box* beroperasi selama 1 jam, kemudian perpindahan panas dari udara akan dihitung dengan segmen waktu 60 detik, maka akan terdapat 60 i , atau i berjalan dari 1 – 60, semakin kecil segmen i nya maka akan semakin akurat hasil hitungan laju aliran panasnya. Demikian pula, untuk menghitung laju aliran kalor dari air 350 ml dapat digunakan Persamaan (1), dan ditulis kembali menjadi Persamaan 2, [11].

$$Q_{a(i)} = \frac{m_{(i)} c_{p(i)} (T_{(i-1)} - T_{(i)})}{(t_{(i)} - t_{(i-1)})} \quad (2)$$

Dengan Q_a adaah laju aliran kalor dari air yang didinginkan di dalam kotak pendingin atau *cooler box* (W). Hasil hitungan dari setiap segmen waktu kemudian dirata-ratakan sehingga diperoleh laju perpindahan panas dari udara maupun air seluruhnya selama percobaan berlangsung.

Karena ruangan *cooler box* temperaturnya lebih rendah dari pada temperatur lingkungan, maka terjadilah perpindahan panas konduksi dari lingkungan menuju ruangan *cooler box* yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 dan 4 yang diambil dari [11].

$$Q_{k(i)} = - \frac{(T_{wi(i)} - T_{wo(i)})}{R} \quad (3)$$

$$R = \frac{x}{kA} \quad (4)$$

Dimana Q_k adalah laju aliran kalor konduksi (W), T_{wi} adalah temperatur dinding dalam kotak pendingin (°C), T_{wo} menyatakan temperatur dinding luar kotak pendingin (°C). R adalah tahanan termal (°C/W), k adalah konduktifitas termal dinding kotak pendingin, x adalah tebal dinding (m), dan A menyatakan luasan permukaan dinding kotak pendingin (m²).

Selanjutnya semua laju aliran panas yang harus dibuang dari dalam ruangan *cooler box* dijumlahkan dan merupakan kapasitas pendinginan yang dinyatakan pada Persamaan 5, [11].

$$Q_c = Q_u + Q_a + Q_k \quad (5)$$

Daya listrik yang diberikan kepada termoelektrik merupakan perkalian antara tegangan dengan arus. Tegangan dan arus yang digunakan diperoleh dari hasil pengukuran langsung, sehingga daya listrik untuk konsumsi termoelektrik dapat dihitung dengan Persamaan 6, [2].

$$P_{in} = VI \quad (6)$$

Dimana P_{in} adalah *input* daya yang diberikan ke termoelektrik (W), V adalah tegangan (*volt*) dan I adalah arus (*Ampere*). Kemudian unjuk kerja dari kotak pendingin dapat dihitung dengan Persamaan 7, [2].

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad (7)$$

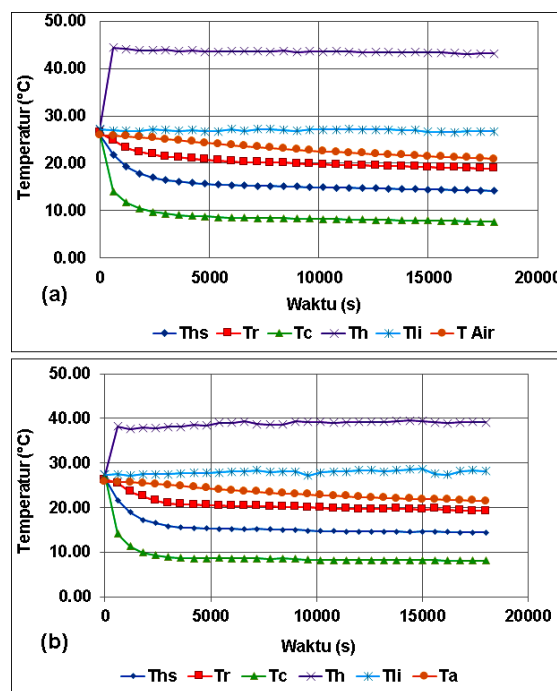
Dimana COP adalah indikator kinerja dari kotak pendingin yaitu disebut dengan *coefficient of performance*. Namun, harapan pada penelitian ini COP dapat lebih tinggi supaya ada improvisasi peningkatan kerja *cooler*

box.

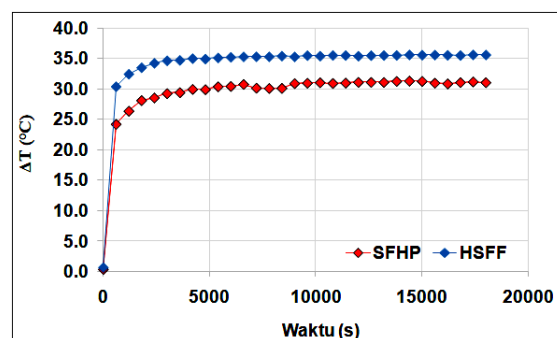
3. HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Sebelum menampilkan hasil-hasil penelitian yang berupa jawaban dari pertanyaan ataupun tujuan penelitian, maka perlu disajikan terlebih dahulu perilaku temperatur seiring bertambahnya waktu pengamatan. Gambar 2 menampilkan temperatur variabel terikat yang diperoleh pada eksperimen yaitu temperatur ruangan, temperatur dinding *cooler box*, temperatur sisi dingin termoelektrik, temperatur sisi panas termoelektrik, dan temperatur lingkungan.

Gambar 2 menunjukkan bahwa temperatur *heat sink*, sisi dingin termoelektrik, air dan udara masing - masing turun seiring dengan bertambahnya waktu. Penurunan paling signifikan adalah dari nol hingga 2000 detik. Setelah itu temperatur tetap menurun tetapi sangat kecil penurunannya dan bahkan hampir konstan. Bila temperature-temperature tersebut konstan maka kondisi mencapai *steady*. Fenomena seperti ini terjadi karena termoelektrik tidak seketika menjadi dingin, artinya memerlukan waktu untuk mencapai temperatur minimum yang mampu diraihinya. [2, 3, 9, 10, 12, 13].



Gambar 2. Tren temperatur terhadap waktu; (a) unit pembuang panas *heat sink fin-fan*, (b) unit pembuang panas *single fan heat pipe*, pada daya 22 W.



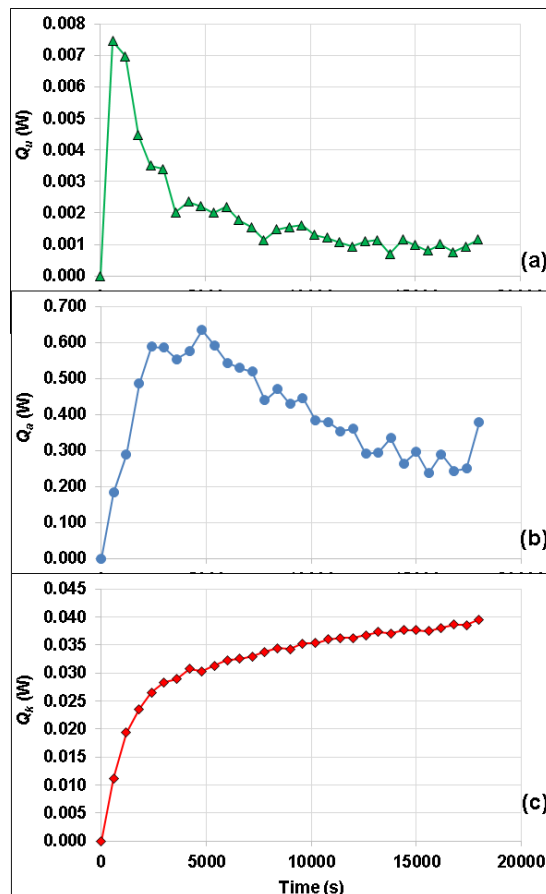
Gambar 3. Hubungan ΔT dengan waktu untuk kedua unit pembuang panas SFHP dan HSFF, pada daya yang sama 22 W.

Gambar 3 menunjukkan bahwa HSFF memiliki beda temperatur ΔT yang lebih tinggi dibandingkan dengan SFHP. Perbedaan termperatur dapat digunakan dalam menghitung kapasitas pendinginan seperti pada Persamaan 9, [2].

$$Q_C = Q_{C_{\max}} (\Delta T_{\max} - \Delta T) / \Delta T_{\max} \tag{9}$$

Dimana $Q_{C_{\max}}$ adalah kapasitas pendinginan maksimum (W), dan ΔT_{\max} adalah perbedaan temperatur maksimum ($^{\circ}\text{C}$). Kapasitas pendinginan maksimumnya sebesar 65 W, dan beda temperatur maksimum 80°C , untuk tipe SP 1848-27145. Berdasarkan persamaan (9), untuk daya yang sama temperatur sisi dingin yang sama tetapi menghasilkan ΔT yang lebih tinggi, maka kapasitas pendinginannya lebih rendah. Jadi berdasarkan Gambar 3 dan Persamaan (9), unit pembuang panas SFHP lebih unggul dibandingkan dengan unit pembuang panas HSFF. Namun demikian, perlu dilihat dari sisi lain atau variabel lain seperti laju perpindahan panas dari udara, dari air dan perpindahan panas konduksinya.

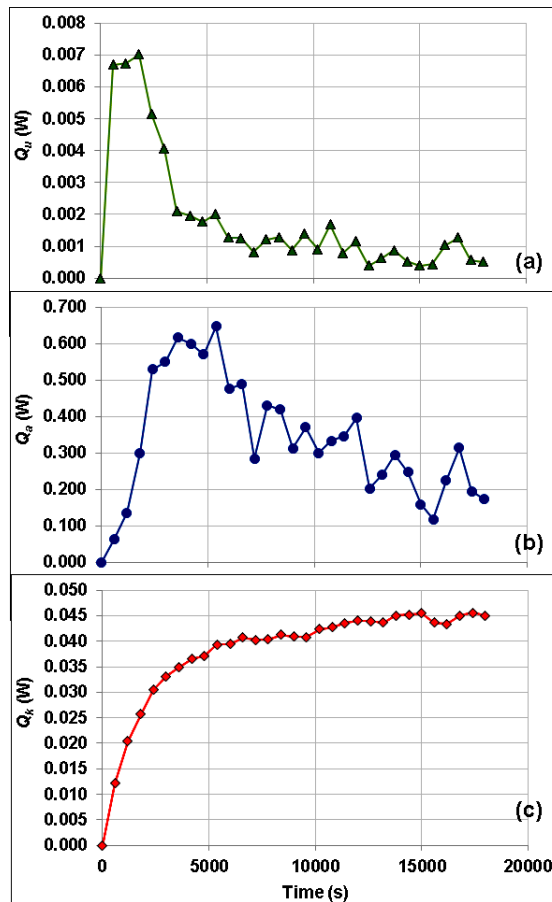
Gambar 4 menunjukkan laju perpindahan panas dari udara dan air, untuk kotak pendingin dengan unit pembuang panas HSFF. Tren perpindahan panas dari udara maupun air adalah menurun dengan bertambahnya waktu, sedangkan perpindahan panas konduksi justru sebaliknya. Udara dan air di dalam ruangan kotak pendingin temperaturnya akan turun terus hingga suatu saat temperatur konstan. Jika temperatur konstan tercapai, maka perpindahan panas dari udara dan air berhenti. Sebagai ganti kedua perpindahan panas, maka perpindahan panas konduksi semakin lama semakin besar hingga suatu saat juga konstan [10, 12, 13].



Gambar 4. Laju perpindahan panas untuk kotak pendingin yang menggunakan HSFF sebagai unit pembuang panas (a) udara, (b) air, dan (c) konduksi.

Sedangkan Gambar 5 adalah laju perpindahan panas untuk kotak pendingin dengan unit pembuang panas SFHP. Tren pada Gambar 5 juga sama dengan tren Gambar 4. Perpindahan panas dari udara dan air untuk HSFF dan SFHP hampir sama, sedangkan perpindahan panas konduksinya lebih besar dari kotak pendingin yang menggunakan unit pembuang panas SFHP, yaitu sekitar 0,045 Watt. Kotak pendingin yang

menggunakan HSFF laju aliran panas konduksinya sekitar 0,04 Watt. Oleh sebab itu, dari Gambar 4 dan 5, didapat gambaran sementara bahwa kotak pendingin yang menggunakan SFHP lebih unggul.



Gambar 5. Laju perpindahan panas untuk kotak pendingin yang menggunakan SFHP sebagai unit pembuang panas (a) udara, (b) air, dan (c) konduksi.

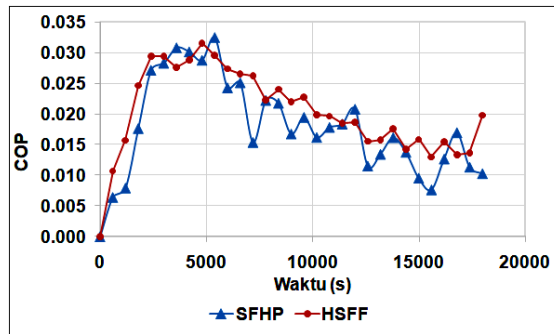
Perlu satu variabel lagi untuk mengetahui mana yang lebih unggul antara kotak pendingin dengan HSFF dan SFHP. Variabel ini adalah COP, seperti ditunjukkan pada Gambar 6. COP dihitung menggunakan Persamaan 7. Artinya daya yang digunakan untuk mencari COP hanyalah daya P_m yaitu daya termoelektrik. Daya kipas pada unit pembuang panas tidak diikut sertakan.

Gambar 6 menunjukkan COP naik drastis pada detik-detik awal yaitu diantara 0 sampai dengan detik ke 2000. Hal ini disebabkan temperatur ruangan menurun drastis juga. Artinya panas yang diambil dari dalam ruangan dan dibuang ke lingkungan pada detik 0 sampai dengan 2000 sangat besar. Kemudian setelah detik ke 2000, panas yang dibuang semakin kecil dan akhirnya panas yang dibuang sama dengan panas konduksi yang masuk melalui dinding kotak pendingin. Yang lebih penting dari Gambar 6 adalah bahwa COP yang diperoleh pada kotak pendingin dengan unit pembuang panas yang berbeda yaitu HSFF dan SFHP tidak menunjukan perbedaan yang jelas. Namun, jika dilihat rata-rata COP, maka justru COP yang diperoleh dengan SFHP lebih rendah dibandingkan dengan COP yang diperoleh dengan unit pembuang panas HSFF.

Pada paper ini COP dicari berdasarkan hasil hitungan kapasitas pendinginan sedangkan COP juga dapat dihitung berdasarkan temperatur T_c dan T_h seperti pada COP Carnot, [14]:

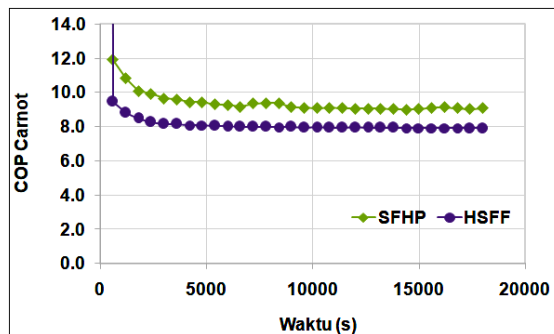
$$COP = \frac{T_c}{T_h - T_c} \tag{10}$$

Apabila pada penelitian ini COP juga dihitung berdasarkan Persamaan 10 maka diperoleh hubungan antara COP dengan waktu seperti pada Gambar 7. T_h dan T_c pada persamaan 10 dalam Kelvin.



Gambar 6. Hubungan COP dengan waktu untuk HSFF dan SFHP, pada daya 22 W.

Gambar 7 menunjukkan tren COP Carnot juga menurun terhadap waktu kemudian menjadi konstan, mirip COP Carnot [14]. Namun, terlihat jelas pada Gambar 7 tersebut bahwa COP Carnot untuk HSFF lebih rendah dibandingkan dengan COP Carnot untuk SFHP. Jadi dengan demikian berdasarkan Gambar 4, 5, dan 7, kotak pendingin dengan unit pembuang panas SFHP lebih unggul apabila daya kipas pada unit pembuang panas tidak dipertimbangkan.



Gambar 7. Hubungan COP Carnot dengan waktu untuk HSFF dan SFHP, pada daya 22 W.

4. KESIMPULAN

Penelitian mengkaji kinerja kotak pendingin dengan dua unit pembuang panas yang berbeda yaitu *heat sink fin-fan* dan *single fan heat pipe*. Dari hasil percobaan dan analisis di atas, terdapat beberapa hal yang perlu ditekankan. Temperatur ruangan, temperatur *heat sink* dalam, temperatur sisi dingin termoelektrik, temperatur air menurun dengan meningkatnya waktu pengamatan. Perpindahan panas dari udara dan air tidak dipengaruhi secara jelas unit pembuang panas.

1. Perpindahan panas konduksi dipengaruhi jelas oleh unit pembuang panas. Kotak pendingin dengan unit pembuang panas SFHP menghasilkan perpindahan panas konduksi yang lebih tinggi.
2. Dari sisi percobaan COP untuk SFHP lebih rendah dari pada untuk HSFF.
3. COP Carnot yang dihasilkan kotak pendingin dengan menggunakan unit pembuang panas SFHP lebih besar dari pada yang menggunakan unit pembuang panas HSFF.
4. Secara umum dengan tanpa memperhitungkan daya kipas pada unit pembuang panas, kinerja kotak pendingin dengan unit pembuang panas SFHP lebih unggul.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram atas segala fasilitas yang Penulis gunakan untuk melakukan penelitian. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada semua yang telah membantu dalam penelitian maupun dalam penulisan paper ini.

6. NOMENKLATUR

A	: Luasan perpindahan panas ($^{\circ}C$)
c_p	: Panas jenis ($J/kg K$)
COP	: Coefficient of performance (kinerja kotak pendingin)
DC	: Direct current, listrik searah

DCA	: Arus listrik searah (A)
DCV	: Tegangan listrik searah (V)
I	: Arus listrik (A)
k	: Konduktivitas termal (W/mK)
m	: Massa (kg)
P_{in}	: Daya listrik yang diberikan ke termoelektrik (W)
Q_a	: Laju aliran panas air (W)
Q_c	: Total laju aliran panas atau kapasitas pendinginan (W)
Q_k	: Laju aliran panas konduksi (W)
Q_u	: Laju aliran panas udara (W)
R	: Hambatan panas ($^{\circ}C/W$)
t	: Waktu (s)
T	: Temperatur ($^{\circ}C$)
T_a	: Temperatur air ($^{\circ}C$)
T_c	: Temperatur sisi dingin termoelektrik ($^{\circ}C$)
T_{hs}	: Temperatur <i>heat sink</i> ($^{\circ}C$)
T_{li}	: Temperatur lingkungan ($^{\circ}C$)
T_r	: Temperatur ruangan kotak pendingin ($^{\circ}C$)
T_{wi}	: Temperatur dinding dalam ($^{\circ}C$)
T_{wo}	: Temperatur dinding luar ($^{\circ}C$)
V	: Tegangan listrik (V)
x	: Tebal dinding kotak pendingin (m)

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BOYES E., STANISSTREET M., "The ideas of secondary school children concerning ozone layer damage", *Global Environmental Change*, v. 4, n. 4, pp. 311-324, 1994.
- [2] ABDUL-WAHAB S.A., ELKAMEL A., AL-DAMKHI A.M., AL-HABSI I.A., AL-RUBAIEY' H.S., AL-BATTASHI A.K., AL-TAMIMI A.R., AL-MAMARI K.H., CHUTANI M.U., "Design and experimental investigation of the portable solar thermoelectric refrigerator", *Renewable Energy*, v. 34, pp. 30-34, 2009.
- [3] ANANTA H., PADANG A.L., MIRMANTO, "Unjuk kerja kulkas termoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel pada beban air 1500 ml", *Dinamika Teknik Mesin*, v. 7, n. 2, pp. 80-86, 2017.
- [4] ISKANDAR F.N., *Penerapan sistem pendinginan bertingkat pada kotak pendingin darah berbasis termoelektrik dan heat pipe*, Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.
- [5] WAHYU D., ANDRIYANTO, HANIF, SUKMA R., ROSA, Y., "Kajian eksperimental alat multifungsi bercatu daya termoelektrik untuk pendinginan dan pemanasan", *Jurnal Rotor*, Edisi Khusus, n. 2, pp. 47-51, 2016.
- [6] GUPTA N.K., TIWARI A.K., GHOSH S.K., "heat transfer mechanisms in heat pipes using nanofluids – a review", *Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 90, pp. 84-100, 2018.
- [7] RAWAT M.K., CHATTOPADHYAY H., NEOGI S., "A review on developments of thermoelectric refrigeration and air conditioning systems: a novel potential green refrigeration and air conditioning technology", *Int. J. Engineering Technology and Advanced Engineering*, v. 3, n. 3, pp. 362-367, 2013.
- [8] REDDY N.J.M., "A low power, eco-friendly multipurpose thermoelectric refrigerator", *Front Energy*, v. 10, n. 1, pp. 79-87, 2016.
- [9] PUTRA D.K., *Unjuk kerja kotak pendingin menggunakan termoelektrik dengan variasi laju aliran massa air pendingin*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, 2017.
- [10] ANGGANI Y., *Perbandingan performa kotak pendingin termoelektrik dengan menggunakan heat pipe dan heat sink dengan kipas sebagai unit pembuang panas*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, 2017.
- [11] HOLMAN J.P., *Perpindahan kalor*, Edisi ke VI, Erlangga Jakarta, 1995.
- [12] RAMDHAN G., *Sistem pendingin pada kulkas termoelektrik dengan variasi pembebanan*, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Mataram, 2016.
- [13] MUSA Z., *Pengaruh daya terhadap unjuk kerja kulkas termoelektrik*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram, 2017.
- [14] JUGSUJINDA S., VORA-UD A., SEEAWAN T., "Analyzing of thermoelectric refrigerator performance", *Procedia Engineering*, v. 8, pp. 154-159, 2011.