

Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Variasi Laju Aliran Massa Air Pendingin

Mirmanto, R. Sutanto, D.K. Putra

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

E-mail: m.mirmanto@unram.ac.id

Abstrak--Penelitian ini dilakukan karena masih ada beberapa pendingin konvensional yang menggunakan refrigeran yang mengandung CFC. CFC jika terurai di udara dapat mempercepat global warming. Disamping itu, konstruksi dari pendingin konvensional masih besar dan berat sehingga susah untuk dijadikan portabel guna kepentingan bepergian. Daya konsumsi mesin ini juga masih besar. Oleh sebab itu perlu ditemukan mesin pendingin yang ramah lingkungan dan daya kecil. Mesin pendingin yang cocok untuk hal tersebut adalah mesin pendingin termoelektrik. Sayangnya mesin termoelektrik ini COP nya masih sangat rendah. Penelitian ini mengkaji pengaruh laju aliran massa air pendingin terhadap COP kotak pendingin dan dengan harapan dapat menaikkan COP mesin tersebut. Eksperimen dilakukan menggunakan modul termoelektrik TEC1-12706 dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 3,74 mm. Modul ini ditempatkan pada bagian atas dari kotak pendingin. Dimensi dari kotak pendingin ini adalah 24,5 cm x 20 cm x 28,5 cm. Data pengujian dicatat menggunakan data logger DAQ MX 9714 NI yang dihubungkan dengan computer melalui program LabView. Laju aliran massa yang digunakan adalah 5 g/s, 10 g/s, dan 15 g/s, dan daya yang digunakan sebesar 41,87 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju aliran massa air pendingin kurang berpengaruh terhadap unjuk kerja kotak pendingin. Ini mungkin disebabkan rentang laju aliran massa air kurang besar, jadi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Kata Kunci: Termoelektrik, COP, kotak pendingin

Abstract--This study was taken because some conventional refrigerators still contain refrigerant comprising CFC that can support the global warming. Moreover, the construction of the conventional refrigerators is still big and heavy so that the refrigerators are difficult to be brought for traveling. The power consumed is also still high. Therefore, friendly and low power refrigerators must be invented. A refrigerator that can fulfil the criteria is thermoelectric refrigerator. However, this type of refrigerator has a low COP. This study presents the effect of mass flow rate on the cooler box performance to examine if there is an increase in the COP. The experiments used a thermoelectric module type TEC1-12706 with an overall size of 40 mm x 40 mm x 3.74 mm. The module was placed on the top side of the cooler box. The cooler box dimension was 24.5 cm x 20 cm x 28.5 cm. The data in the test were recorded using a DAQ MX 9714 NI data logger that was connected to a PC using the LabView program. The water mass flow rates used were varied; 5 g/s, 10 g/s, and 15 g/s and the electric power employed was 41,87 W. The results show that the higher mass flow rate used does not guaranty to increase the refrigerator performance. This is due to low ranges of the mass flow rates applied. Therefore, a further investigation needs to be conducted.

Keywords: thermoelectric, COP, cooler box

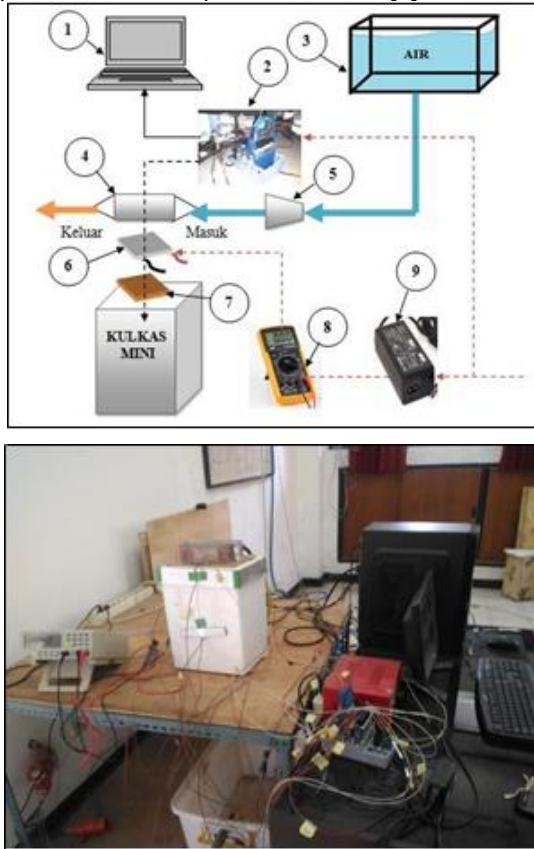
1. PENDAHULUAN

Saat ini, ukuran mesin pendingin khususnya pendingin makanan dan minuman (kulkas) masih terlalu besar walaupun sudah ada dalam bentuk portabel, tetapi tetap masih menyulitkan untuk dibawa ke mana-mana karena terdiri dari komponen yang besar dan berat [1]. Di samping itu mesin pendingin yang tersedia saat ini ada sebagian yang masih menggunakan refrigeran yang mengandung CFC, dan memerlukan banyak energi listrik sehingga tidak dapat dilakukan penghematan energi. Oleh sebab itu, perlu ditemukan mesin pendingin yang murah, daya kecil dan ramah lingkungan. Mesin semacam ini,

dapat dipenuhi dengan mesin pendingin termoelektrik (kulkas termoelektrik).

Pendingin termoelektrik merupakan *solid state technology* yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin pengganti sistem *vapor compression*. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama, kompak, perawatan mudah [1-5] dan bisa digunakan dalam skala besar dan kecil/ portabel. Termoelektrik memiliki 2 bagian yang berbeda yaitu bagian yang dingin dan bagian yang panas. Perbedaan temperatur antara kedua sisinya adalah sekitar 30°C - 60°C tergantung dari tipe atau model termoelektriknya. Prinsip kerja termoelektrik yaitu ketika disuplai tegangan DC 12-15 Volt, salah satu

sisi akan menjadi panas dan sisi lainnya menjadi dingin. Apabila bagian *hot side* suhunya diturunkan, maka *cold side* akan semakin dingin pula dan bisa sampai dibawah 0°C [6].



Gambar 1. Skema alat penelitian

Beberapa penelitian sebelumnya tentang pendinginan menggunakan termoelektrik sudah ada. Hasil penelitian Aziz dkk. [7] dengan menggunakan jumlah elemen termoelektrik yang berbeda (2 atau 3 modul TEC), dengan kapasitas kotak pendingin 34 liter menunjukkan bahwa penggunaan 3 modul TEC dengan fan dan blok aluminium memberikan pendinginan yang lebih baik setelah digunakan selama 150 menit, dengan temperatur kotak minuman mencapai $14,3^{\circ}\text{C}$ tanpa beban pendingin dan $16,4^{\circ}\text{C}$ dengan beban pendingin 1 liter air. Penelitian Akmal [8] menganalisis performansi termoelektrik pendingin portabel menggunakan elemen Peltier dengan susunan *cascade*, menunjukkan bahwa ada beberapa parameter yang mempengaruhi pendinginan yaitu jumlah *cascade* yang aktif dan besarnya *input* daya yang digunakan. Dimana 1 *cascade* aktif dicapai $26,38^{\circ}\text{C}$, 2 *cascade* aktif dicapai $23,44^{\circ}\text{C}$, 3 *cascade* aktif dicapai $19,77^{\circ}\text{C}$. *Input* daya 50,5 W, 72,72 W dan 113,64 W menghasilkan temperatur pendinginan $19,98^{\circ}\text{C}$, $19,77^{\circ}\text{C}$, dan $18,52^{\circ}\text{C}$ selama 120 menit. Tetapi berdasarkan literatur, mesin pendingin termoelektrik masih sangat rendah performanya, sebab COP mesin ini masih kurang dari 1 [1, 5, 9].

Untuk itulah perlu dilakukan penelitian lebih intensif untuk menaikkan COP. Beberapa peneliti sebelumnya sudah mencoba untuk memperbaiki COP mesin pendingin termoelektrik seperti Rawat dkk. [9], Gupta [10] dan Reddy [11]. Namun COP yang didapatkan masih di bawah 1. Mereka semua tidak menggunakan aliran air pada sisi panas termoelektriknya. Oleh sebab itu, penelitian ini mencoba menggunakan fluida air untuk mengambil panas dari sisi panas termoelektrik dengan harapan panas yang dapat diambil lebih banyak sebab air memiliki kemampuan mentransfer panas yang lebih baik dibandingkan dengan udara.

2. METODOLOGI

Skema alat penelitian ditunjukkan pada gambar 1. Bahan penelitian yang digunakan adalah udara dan air pendingin. Alat penelitian terdiri dari kotak pendingin (kulkas mini), termoelektrik, *accu/adaptor*, *heat exchanger*, *heat sink* dalam, multimeter, *flowmeter*, termokopel, bak penampung, dan *heat exchanger*.

Air sebagai pendingin mengalir secara alami dari bak penampung menuju sisi panas termoelektrik. Aliran air diatur menggunakan katup dan diukur menggunakan flowmeter FLR 1000 dengan akurasi $\pm 0,5$ g/s (hasil kalibrasi). Setelah melalui termoelektrik, air mengalir ke lingkungan. Laju aliran massa air yang digunakan adalah 5 g/s, 10 g/s dan 15 g/s.

Semua termokopel dikalibrasi dalam *constant oil bath* dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Alat ukur multimeter memiliki akurasi $\pm 0,05\%$ *reading* DCV, dan akurasi $\pm 0,1\%$ *reading* DCA. Daya yang digunakan pada penelitian ini adalah 41,87 W. Untuk menghasilkan data yang akurat penelitian diulang 3 kali untuk tiap-tiap variabel yang diuji. Spesifikasi termoelektrik yang digunakan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi termoelektrik

Model	TEC1-12706
Voltage	12 V
V_{max} (V)	15.4V
I_{max} (A)	6A
Q_{max} (W)	92W
Internal	1.98 Ohm \pm 10%
Type	Cooling cells

Sebelum memulai pengujian, terlebih dahulu mempersiapkan alat penelitian dan alat ukur kemudian mengecek kondisi alat penelitian dan alat ukur tersebut, selanjutnya mengkalibrasi alat ukur yang perlu dikalibrasi, setelah itu melakukan pemasangan alat ukur seperti termokopel dan *flowmeter*. Setelah semua alat ukur yang

digunakan dapat berfungsi dengan baik, maka dilakukanlah percobaan.

Untuk dapat menentukan performa dari kotak pendingin, maka hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan beberapa persamaan perpindahan panas. Perpindahan panas dari sisi panas termoelektrik ke *heat exchanger* dapat ditentukan dengan menghitung kalor yang diserap oleh aliran air di dalam *heat exchnager* yaitu dengan menggunakan persamaan, Incropera dkk. [12].

$$Q_w = \dot{m} c_p (T_o - T_i) \tag{1}$$

Dimana Q_w adalah laju aliran panas yang diserap oleh air untuk dialirkan keluar/ ke lingkungan (W), \dot{m} menyatakan laju aliran massa air, c_p adalah panas jenis air ($J/kg K$), T_i adalah suhu air masuk *heat exchanger* ($^{\circ}C$), dan T_o suhu aliran air keluar dari *heat exchanger* ($^{\circ}C$). Karena di dalam *heat exchnager*, air menerima panas maka $T_o > T_i$. c_p dicari pada tabel sifat-sifat air tekanan atmosfer berdasarkan suhu *bulk* yaitu sama dengan $T_b = (T_o - T_i) / 2$, Incropera dkk. [12]. Sedangkan \dot{m} diukur langsung menggunakan *flowmeter* yang disambungkan ke data *logger*.

Panas yang harus dikeluarkan dari dalam kotak pendingin adalah panas dari udara yang didinginkan di dalam kotak pendingin dan panas konduksi melalui dinding kotak pendingin. Panas dari udara dapat diestimasi dengan persamaan [13]:

$$Q_{u(i)} = \frac{\dot{m}_{(i)} c_{p(i)} (T_{(i-1)} - T_{(i)})}{(t_{(i)} - t_{(i-1)})} \tag{2}$$

Dimana Q_u adalah laju aliran kalor dari udara di dalam kulkas (W), m adalah massa udara (kg), T adalah suhu udara ($^{\circ}C$) dan t merupakan waktu pengamatan saat kotak pendingin dijalankan (s).

Panas konduksi dihitung dengan persamaan sebagai berikut [14]:

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

$$R = \frac{x}{kA} \tag{4}$$

Dimana Q_k adalah laju aliran kalor konduksi (W), T_{wi} adalah suhu dinding dalam kotak pendingin ($^{\circ}C$), T_{wo} menyatakan suhu dinding luar kotak pendingin ($^{\circ}C$). R adalah tahanan termal ($^{\circ}C/W$), k adalah konduktifitas termal dinding kotak pendingin, x adalah tebal dinding (m), dan A menyatakan luasan permukaan dinding kotak pendingin (m^2).

Kapasitas pendinginan adalah total panas yang harus dikeluarkan dari kotak pendingin, oleh

sebab itu dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan:

$$Q_c = Q_u + Q_k \tag{5}$$

Persamaan (5) juga digunakan oleh Ananta dkk. [1], Abdul-Wahab dkk. [5], Ramdan [15], dan Musa [16]. Daya listrik yang diberikan kepada termoelektrik dapat dihitung dengan persamaan [1, 5]:

$$P_{in} = VI \tag{6}$$

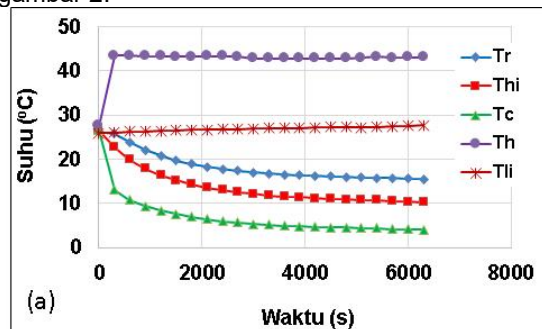
Dimana P_{in} adalah *input* daya yang diberikan ke termoelektrik (W), V adalah tegangan ($Volt$) dan I adalah arus ($Ampere$). Kemudian unjuk kerja dari kotak pendingin dapat ditafsir dengan formula sebagai berikut:

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \tag{7}$$

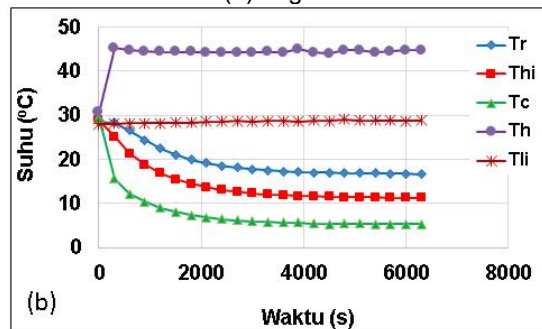
Dimana COP adalah indikator kinerja dari kotak pendingin (*coefficient of performance*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

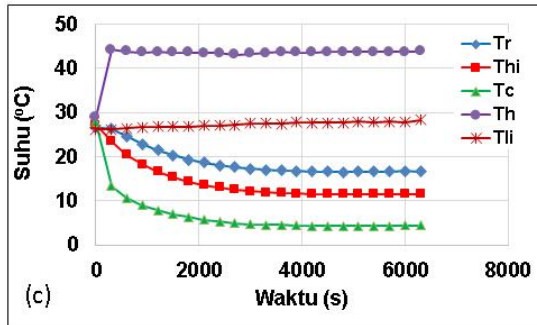
Pengujian menggunakan air sebagai fluida penyerap panas sisi panas termoelektrik dengan memvariasikan laju aliran massa dari air pendingin telah dilakukan. Variasi laju aliran massa air pendingin yang digunakan yaitu 5 g/s, 10 g/s dan 15 g/s tanpa beban. Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan sekitar 27-29 $^{\circ}C$. Hasil pencatatan suhu dapat dilihat pada gambar 2.



(a). 5 g/s



(b). 10 g/s



(c). 15 g/s

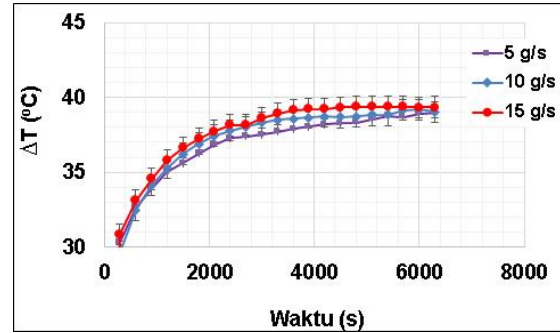
Gambar 2. Hubungan suhu dan waktu untuk berbagai laju aliran massa air untuk kotak pendingin kosong

Simbol yang tertulis pada gambar 2, T_r adalah suhu ruangan, T_{hi} adalah suhu *heat sink* dalam, T_c suhu sisi dingin termoelektrik, T_h adalah suhu sisi panas termoelektrik, dan T_{ii} adalah temperatur lingkungan.

Gambar 2 menunjukkan bahwa suhu ruangan atau suhu udara, suhu *heat sink* dalam dan suhu sisi dingin termoelektrik turun seiring dengan bertambahnya waktu pengamatan atau waktu kerja kotak pendingin. Dari nol detik ke 600 detik, penurunan suhu tersebut sangat drastis, kemudian turun relatif kecil dan akhirnya menjadi konstan. Menurunnya suhu ruangan disebabkan panas di dalam ruangan kotak pendingin diserap oleh *heat sink* dalam yang kemudian diteruskan ke pada sisi dingin termoelektrik. Karena ruangan tertutup dan dinding kotak pendingin menggunakan material isolator panas seperti styrofoam maka makin lama suhu dalam ruangan makin turun. Tren suhu yang demikian juga ditemukan oleh para peneliti terdahulu seperti Ananta dkk. [1], Abdul-Wahab dkk. [5], Ramdhan [15] dan, Musa [16].

Gambar 2 tidak secara jelas menunjukkan pengaruh laju aliran massa air terhadap performa kotak pendingin dilihat dari sisi suhu terendah yang dapat dicapai. Suhu terendah yang dicapai dengan ke tiga macam laju aliran massa hampir sama atau tidak ada beda yang signifikan. Untuk itu perlu dipresentasikan atau perlu dilihat dari variabel lain yaitu misalnya perbedaan suhu antara suhu sisi panas dengan suhu sisi dingin, ΔT . Apabila laju aliran akan berpengaruh terhadap kinerja kotak pendingin, maka nanti berbeda laju aliran massa menghasilkan perbedaan suhu yang tidak sama.

Gambar 3 menunjukkan hasil percobaan perbedaan suhu sisi dingin dengan suhu sisi panas, ΔT . ΔT naik dengan bertambahnya waktu pengamatan atau *running* mesinnya. Hal ini dikarenakan penurunan suhu sisi dingin ataupun kenaikan suhu sisi panas tidak seketika tetapi memerlukan waktu. Setelah beberapa detik akhirnya menjadi konstan yang menandakan bahwa kondisi steady telah tercapai.

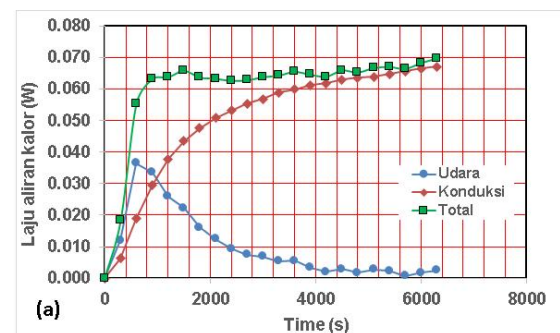


Gambar 3. Hubungan ΔT dengan waktu pada daya yang sama 41,78 W.

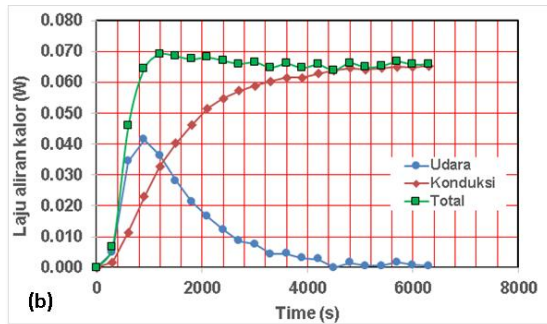
Jika dilihat dari garis perbedaan suhu, maka semakin tinggi aliran massa air akan semakin tinggi ΔT . Berdasarkan teori termoelektrik ΔT naik, kapasitas pendinginan turun. Ini dapat dilihat pada persamaan (8).

$$Q_C = Q_{C_{\max}} (\Delta T_{\max} - \Delta T) / \Delta T_{\max} \quad (8)$$

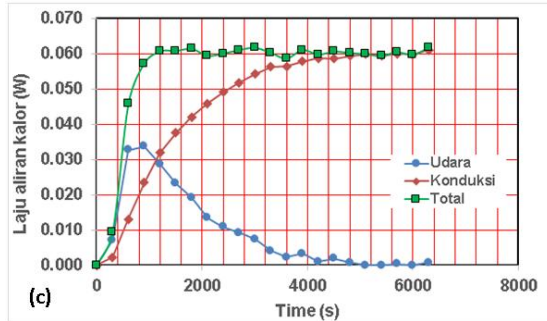
Dimana $Q_{C_{\max}}$ adalah kapasitas pendinginan maksimum (W), dan ΔT_{\max} adalah perbedaan suhu maksimum ($^{\circ}\text{C}$). Kapasitas pendinginan maksimum berdasarkan model termoelektronik adalah 92 (W) dan maksimum perbedaan suhu sebesar 60°C . Oleh sebab itu, apabila mengacu kepada persamaan (5), maka semakin tinggi laju aliran massa air justru menurunkan Q_c atau menurunkan unjuk kerja. Namun, jika *error bar* diperhitungkan, maka ΔT untuk semua laju aliran tidak signifikan, sebab batang *error bar* nya masih saling bersentuhan. Jadi dilihat dari ΔT , laju aliran massa air pendingin tidak berpengaruh secara signifikan. Analisis selanjutnya adalah menghitung perpindahan panas dari udara yang berada di dalam ruang kotak pendingin dan konduksi melalui dinding kotak pendingin. Perhitungan perpindahan panas ini dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2) untuk laju aliran panas dari udara dan persamaan (3) untuk perpindahan panas konduksi. Laju aliran kalor total atau kapasitas pendinginan dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan (5). Hasil hitungan disajikan pada gambar 4.



(a). 5 g/s



(b). 10 g/s



(c). 15 g/s

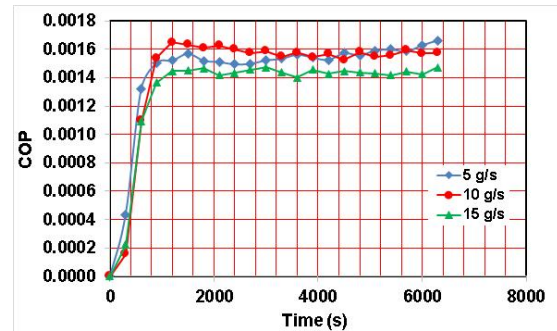
Gambar 4. Laju aliran kalor dari udara dan konduksi serta total laju aliran kalor untuk tiga macam laju aliran massa air pendingin

Laju aliran kalor dari udara menurun dengan bertambahnya *running time* kotak pendingin. Hal ini dikarenakan suhu udara di dalam ruangan kotak pendingin semakin lama semakin rendah dan akhirnya konstan. Ketika sudah konstan maka tidak ada lagi perpindahan kalor dari udara ke *heat sink* sebelah dalam. Namun demikian, laju aliran kalor konduksi justru meningkat seiring dengan bertambahnya *running time* kotak pendingin. Suhu ruangan kotak pendingin yang menurun menyebabkan perbedaan suhu antara suhu di dalam ruangan dengan suhu lingkungan menjadi semakin besar. Perbedaan suhu yang semakin besar ini proporsional dengan laju aliran kalor konduksi, sehingga laju kalor konduksi semakin meningkat dan akhirnya menjadi konstan. Gambar 4 jarang ditemui di dalam *paper* yang berkaitan dengan pendinginan termoelektrik, oleh sebab itu, penulis sangat semangat untuk menulis hasil ini supaya dapat dijadikan referensi bagi para perancang pendingin termoelektrik.

Pada gambar 4 pula, untuk laju aliran massa air pendingin sebesar 5 g/s, total laju aliran kalor mendekati 0,065 W, sedangkan untuk laju aliran massa air pendingin 10 g/s total laju aliran kalor sekitar 0,065 W dan terakhir untuk laju aliran masa air pendingin 15 g/s, total laju aliran kalor sebesar 0,06 W. Dengan demikian, semakin tinggi laju aliran massa air pendingin juga tidak nampak jelas berpengaruh terhadap laju aliran kalor yang dipindahkan dari dalam ruang kotak pendingin ke lingkungan. Ketidak jelasan pengaruh laju aliran massa air kemungkinan dikarenakan rentang laju

aliran massa air pendingin kurang besar. Untuk itulah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Variabel terakhir yang perlu ditelusuri adalah COP atau indicator unjuk kerja kotak pendingin. COP dapat dihitung menggunakan persamaan (7). Total laju aliran kalor Q_c dibagi dengan daya listrik DC yang diberikan ke termoelektrik. Daya listrik ini diketahui dengan cara mengukur tegangan dan arus menggunakan *multitester*. Hasil hitungan COP disajikan pada gambar 5 untuk berbagai laju aliran massa air pendingin.



Gambar 5. Hubungan antara COP dengan *running time* kotak pendingin untuk beberapa laju aliran massa air pendingin.

COP meningkat dengan meningkatnya waktu pengamatan, selanjutnya COP menjadi konstan ketika kondisi steady tercapai. COP meningkat dengan tajam pada detik awal setelah kotak pendingin dihidupkan. Peningkatan COP ini disebabkan meningkatnya laju aliran kalor konduksi. Laju aliran kalor konduksi meningkat maka kapasitas pendinginan meningkat. Sesuai dengan persamaan (7), jika kapasitas pendinginan Q_c meningkat maka tentunya COP meningkat sebab daya listrik yang diberikan tetap atau sama untuk semua percobaan.

Pada gambar 5 terlihat sedikit perbedaan perilaku garis COP. Pada laju aliran massa air pendingin 5 g/s, COP yang didapatkan adalah sekitar 0,015 dan pada akhir percobaan COP meningkat hingga mendekati 0,017. Namun jika diambil tengahnya maka COP nya sekitar 0,016. Laju aliran massa air pendingin 15 g/s menghasilkan COP yang lebih rendah dari pada laju aliran massa air pendingin 10 g/s. Pada kenaikan laju aliran massa air pendingin 5 g/s ke 10 g/s, pengaruh laju aliran massa air pendingin seperti tidak nampak sedangkan pada laju aliran air 10 g/s hingga 15 g/s, laju aliran massa air yang tinggi justru menurunkan COP. Dari sini dapat ditafsirkan bahwa untuk laju aliran air yang besar, kenaikan laju aliran massa air pendingin menurunkan COP, sedangkan untuk laju aliran air yang rendah, COP tidak dipengaruhi oleh laju aliran massa air pendingin. Namun demikian, percobaan ini perlu dilakukan lebih jauh lagi untuk laju aliran massa air yang lebih tinggi guna mengklarifikasi fenomena ini. Kemungkinan

menurunnya COP untuk laju aliran massa air 15 g/s adalah aliran air pada *heat exchanger* yang bersentuhan dengan sisi panas termoelektrik terlalu cepat sehingga tidak cukup waktu untuk mengambil panas dari sisi panas termoelektrik tersebut. Pelajaran terpenting di sini adalah bahwa penelitian laju aliran massa air pendingin terhadap unjuk kerja kotak pendingin belum banyak dipublikasi, sehingga penulis merasa sangat perlu melaporkan ini supaya dapat dijadikan bahan kajian lebih jauh.

5. KESIMPULAN

Penelitian untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa air pendingin terhadap unjuk kerja kotak pendingin telah dilakukan. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Temperatur ruangan kotak pendingin menurun dengan bertambahnya waktu pengamatan.
2. Suhu ruangan kotak pendingin terendah yang dapat dicapai dari ketiga laju aliran massa air pendingin, tidak berbeda secara signifikan.
3. Perbedaan suhu antara suhu sisi dingin dan suhu sisi panas termoelektrik tidak dipengaruhi secara jelas oleh laju aliran massa air pendingin.
4. Laju aliran kalor dari udara menurun dengan meningkatnya waktu pengamatan. Sedangkan laju aliran kalor konduksi meningkat seiring dengan meningkatnya waktu pengamatan.
5. Laju aliran massa air kurang berpengaruh secara jelas terhadap kapasitas pendinginan.
6. COP meningkat seiring dengan meningkatnya waktu observasi.
7. Pengaruh laju aliran massa terhadap COP masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, sebab pada penelitian ini pengaruhnya masih belum jelas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram atas fasilitas yang diberikan pada penelitian ini. Disamping itu, Penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam melakukan penelitian maupun membuat paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ananta H, Padang AL, Mirmanto. (2017). Unjuk kerja kulkas termoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel pada beban air 1500 ml. *Dinamika Teknik Mesin*. 7(2): 80-86.
- [2]. Andersen JR. (1962). TE air conditioner for submarine. *Adv. Energy Convers*. 2: 241-244.

- [3]. Mei VC, Chen FC, Mathiprakasham B. (1989). Comparison of TE and vapor cycle technologies for groundwater heat pump application. *ASME J, Solar Energy Engineering*. 111: 353-360.
- [4]. McNaughton AG. (1995). Commercially available generators, in: D.M. Rowe (Ed.), *CRC Handbook of TE*, 1. CRC Press. Florida.
- [5]. Abdul-Wahab SA, Elkamel A, Al-Damkhi AM, Al-Habsi IA, Al-Rubai'ey' HS, Al-Battashi AK, Al-Tamimi AR, Al-Mamari KH, Chutani MU. (2009). Design and experimental investigation of the portable solar thermoelectric refrigerator. *Renewable Energy*. 34: 30-34.
- [6]. Delly J, Hasbi M, Alkhiroin IF. (2016). *Studi penggunaan modul termoelektrik sebagai sistem pendingin portable*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo, Kendari.
- [7]. Aziz A, Subroto J, Silpana V. (2015). *Aplikasi modul pendingin termoelektrik sebagai media pendingin kotak minuman*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- [8]. Akmal M. (2014). Analisis performansi thermoelectric cooling box portable menggunakan elemen peltier dengan susunan cascade. *Tugas Akhir*. Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Ria,.
- [9]. Rawat MK, Chattopadhyay H, Neogi S. (2013). 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*. 3(3): 362-367.
- [10]. Gupta NK, Tiwari AK, Ghosh SK. (2018). Heat transfer mechanisms in heat pipes using nanofluids – A review. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 90: 84-100.
- [11]. Reddy NJM. (2016). A low power, eco-friendly multipurpose thermoelectric refrigerator. *Front Energy*. 10(1): 79-87.
- [12]. Incropera FP, Dewitt DP, Bergman TL, Lavine AS. (2006). *Fundamental of heat and mass transfer. 6th Edition*. John Wiley and Sons, USA.
- [13]. Çengel YA, Boles MA. (2006). *Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th. ed*, McGraw-Hill, NY.
- [14]. Holman JP. (1995). *Perpindahan Kalor. Edisi ke VI*. Erlangga Jakarta.
- [15]. Ramdhan G. (2016). Sistem pendingin pada kulkas termoelektrik dengan variasi pembebanan. *Skripsi Teknik Mesin*. Universitas Mataram.
- [16]. Musa Z. (2017). Pengaruh daya terhadap unjuk kerja kulkas termoelektrik. *Skripsi Jurusan Teknik Mesin*. Universitas Mataram.