

ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN AIR PADA APLIKASI PENDINGINAN THERMOELECTRIC COOLER TERHADAP COOLING BOX

ANALYSIS OF THE EFFECT OF WATER FLOW RATES ON THE THERMOELECTRIC COOLER APPLICATION FOR THE COOLING BOX

Faiz Auliya Ramadhan¹, M. Ramdhan Kirom², Tri Ayodha Ajiwiguna³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹f26ramadhan@gmail.com, ²jakasantang@gmail.com, ³ tri.ayodha@gmail.com

Abstrak

Thermoelectric cooler (TEC) merupakan sebuah perangkat yang memanfaatkan arus DC untuk menghasilkan fenomena pompa kalor. Ketika diberi sumber tegangan maka akan terjadi perbedaan temperatur (ΔT) pada kedua sisi TEC, fenomena tersebut dinamakan efek peltier. Pada penelitian ini, dibuat sebuah sistem pendingin dengan memanfaatkan TEC-12706 untuk mendinginkan air di dalam cooling box sebanyak 1.5kg dan memvariasikan laju alirannya yang keluar dari pompa sebesar 1LPM, 2LPM, dan 3LPM. Target temperatur air yang akan didinginkan adalah 20°C pada setiap variasi laju aliran. Pengambilan data temperatur menggunakan termokopel tipe-K yang terhubung kepada *data logger* HE804. Selama percobaan, pengambilan data dilakukan secara *real time* yang kemudian dilakukan pembagian data waktu setiap 10 menit sampai temperatur mencapai 20°C. Pembagian data dilakukan agar perubahan temperatur dapat terlihat dengan jelas dan mudah untuk dianalisis. Hasil dari perubahan temperatur secara percobaan dapat dibandingkan dengan perhitungan. Dari hasil pengujian sampai 20°C didapatkan bahwa untuk mencapai 20°C, pada 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM membutuhkan waktu sebesar 70 menit, 110 menit, dan 180 menit. Berdasarkan perhitungan pada 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM waktu yang dibutuhkan sebesar 11.88 menit, 25.33 menit, dan 39.79 menit.

Kata Kunci: *Thermoelectric cooler (TEC)*, Laju aliran, Temperatur, dan *Cooling Box*.

Abstract

Thermoelectric cooler (TEC) is a device that requires DC current to produce the heat pump phenomenon. When given a voltage source there will be a temperature difference (ΔT) on the second side of the TEC, the phenomenon is called the peltier effect. In this study, a cooling system was made by using TEC-12706 to cool the air inside the cooler as much as 1.5 kg and vary the flow rate out of the pump by 1LPM, 2LPM, and 3LPM. The target temperature of the air to be cooled is 20°C at each flow rate variation. Retrieval of temperature data using a K-type thermocouple connected to the HE804 data logger. During the experiment, the data collection was carried out in real time and then the time was shared every 10 minutes until the temperature reached 20°C. Data sharing is done so that changes in temperature can be seen clearly and easily done. Results from temperature changes. Can be compared with calculations. From the test results up to 20°C obtained from reaching 20°C, at 1 LPM, 2 LPM, and 3 LPM takes 70 minutes, 110 minutes, and 180 minutes. Based on calculations on 1 LPM, 2 LPM, and 3 LPM the time required is 11.88 minutes, 25.33 minutes, and 39.79 minutes.

Keywords: *Thermoelectric cooler (TEC)*, flow rate, temperature, and *Cooling Box*.

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi membuat manusia semakin memiliki ketergantungan terhadap sistem pendingin dalam kehidupan sehari-harinya, sebagai contoh penyimpanan makanan dan minuman, sistem pendingin hidroponik (aquascape), penyimpanan vaksin, pendingin komponen elektronik, dan lain-lain. Secara umum, pendinginan bertujuan untuk melepaskan panas dari suatu zat sehingga temperaturnya menjadi lebih rendah, merubah wujud zat, atau mempertahankan temperatur rendahnya [1].

Salah satu sistem pendingin yang biasa digunakan oleh masyarakat adalah lemari es. Sebagian besar lemari es menggunakan sistem refrigeraasi kompresi uap (SRKU) yang memiliki *coefficient of performance* (COP) yang tinggi dibandingkan sistem pendingin lainnya. Di sisi lain, SRKU memiliki kekurangan yaitu membutuhkan daya yang tinggi dan sistemnya membutuhkan ruang yang besar sehingga tidak bersifat *portable* [2]. Selain itu, penggunaan *refrigerant* pada sistem kompresi uap memiliki dampak negatif terhadap lingkungan yaitu dapat mempercepat pemanasan global karena mengandung CFC [3]. Oleh karena itu, untuk

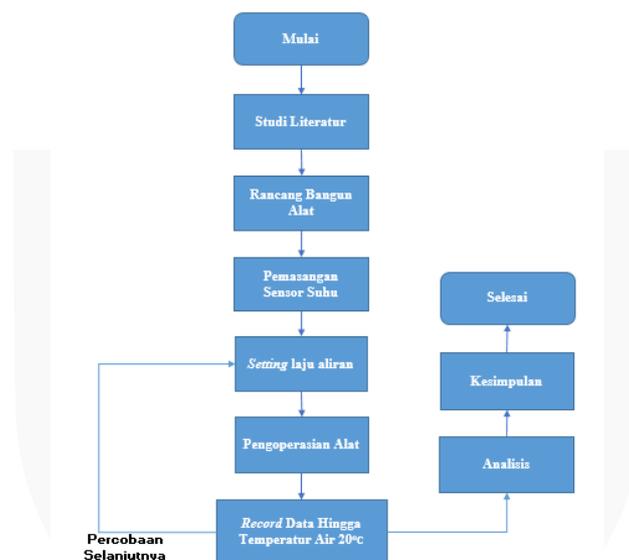
menghasilkan sistem pendingin yang bersifat *portable*, daya kecil, mudah dalam perawatan, dan bersifat ramah lingkungan maka *thermoelectric cooler* (TEC) sangat cocok untuk digunakan.

TEC merupakan sebuah perangkat yang memanfaatkan arus DC untuk menghasilkan fenomena pompa kalor. Material TEC terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p dan tipe n, material yang umum digunakan adalah *bismuth telluride* (Bi_2Te_3) [4,5]. Namun, TEC memiliki kekurangan yaitu COP nya yang rendah [2]. Penelitian dengan menggunakan TEC telah banyak dilakukan, Dai et al. [6] melakukan penelitian dengan membuat kulkas termoelektrik yang dioperasikan oleh modul photovoltaik dan memperoleh COP sekitar 0,3 dengan suhu ruang lemari es mulai dari 5 hingga 10 °C. Penelitian tersebut berpotensi untuk penyimpanan makanan dan minuman ketika berada di luar ruangan dimana pasokan tenaga listrik tidak ada. Selain itu, Ohara et al. [7] melakukan penelitian membuat pendingin *thermoelectric* untuk pengiriman vaksin dengan menggunakan pipa kalor planar untuk mempertahankan pembuangan panas dan insulasi. Hasil yang didapat adalah temperatur minimum untuk sistem tersebut mencapai 3,4°C dengan massa 6,2kg.

Bagas P. (2017) pada jurnalnya menyimpulkan bahwa laju perpindahan kalor yang dihasilkan *cooler box* semikonduktor dengan media air lebih besar jika dibandingkan dengan udara [8]. Oleh karena itu pada penelitian ini ditujukan untuk menganalisis pengaruh dari laju aliran air terhadap proses pendinginan air di dalam *cooling box*, dengan menggunakan TEC1-12706 sebagai media pendinginan. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan laju aliran sebesar 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM dengan air sebesar 1.5 kg. Target temperatur yang akan didinginkan sebesar 20°C, dan dianalisis pengaruh laju aliran terhadap proses pendinginan.

2. Metodologi Penelitian

Tahapan dalam penelitian digambarkan dalam *flow chart* seperti pada gambar dibawah:

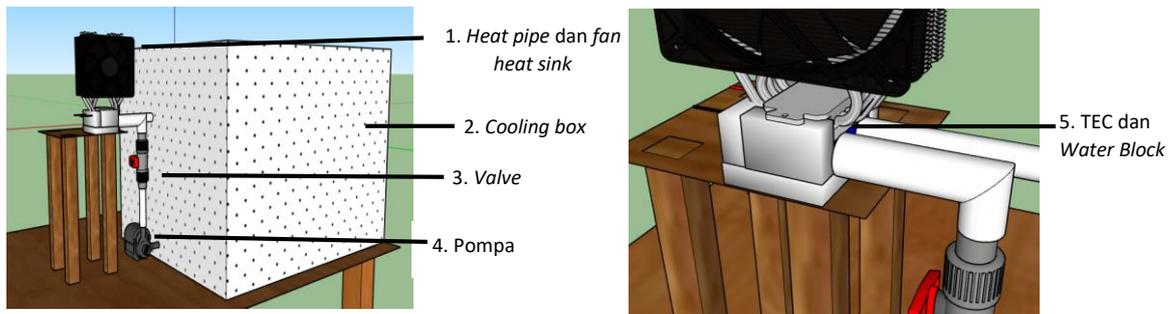


Gambar 2.2 Flow Chart penelitian

2.1 Perancangan Alat

Sebelum pembuatan alat, tahap pertama yaitu merancang sistem pendingin yang akan dijadikan sebagai alat uji pada penelitian. Perancangan alat menggunakan program *Sketch Up* seperti pada gambar 2.1, dimana terdapat beberapa komponen yang telah diberi nomor diantaranya:

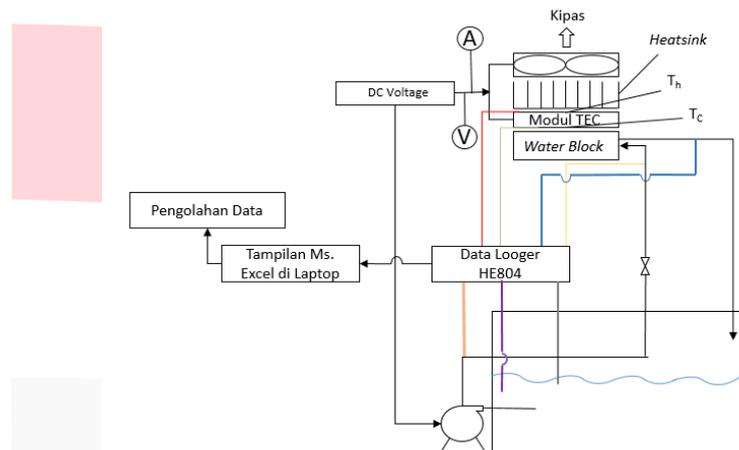
1. *Heatpipe* dan *fan heatsink*
2. *Cooling Box*
3. *Valve*
4. *Pompa*
5. *Thermoelectric cooler* (TEC) dan *Water block*



Gambar 2.2 Perancangan sistem pendingin

2.2

Skema Pengukuran



Gambar 2.3 Skema pengukuran penelitian

Pada skema di atas DC *voltage* merupakan sumber tegangan yang digunakan untuk menjalankan TEC, *fan heatsink*, dan pompa. Sebelum disambungkan dengan DC *voltage*, TEC dirangkai seri terlebih dahulu dengan multimeter untuk mendapatkan besar arus yang digunakan pada TEC. Untuk sensor suhu menggunakan thermocouple tipe-K yang terhubung dengan data logger HE804 untuk menampilkan setiap perubahan temperatur secara real time. Sensor suhu diletakkan pada selang air yang masuk dan keluar dari *water block*, sisi dingin dan panas pada TEC, temperatur lingkungan, keluaran pompa dan di dalam *cooling box*. Hasil yang didapat akan ditampilkan di Ms. Excel dan dilakukan pengolahan data. Sebelum sistem dijalankan, laju aliran akan di atur sebesar 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM. Setiap variasi dilakukan percobaan sebanyak 3 kali dan dilakukan pembagian data waktu setiap 10 menit agar perubahan temperatur dapat terlihat jelas dan mudah untuk dianalisis.

2.3

Pengolahan Data Pengukuran

Data temperatur yang telah didapat kemudian diolah dan dianalisis. Beberapa perhitungan yang akan dilakukan yaitu mencari nilai *cooling capacity system* (\dot{Q}_c), nilai estimasi perubahan temperatur, dan nilai kalor yang diserap oleh sisi dingin TEC (\dot{Q}_{ab}). Beberapa persamaan yang akan digunakan yaitu sebagai berikut:

- *Cooling capacity system* (\dot{Q}_c)

Cooling capacity system (\dot{Q}_c) merupakan perhitungan kapasitas pendinginan di dalam *cooling box*. Pada persamaan ini pengaruh *heat loss* sudah termasuk di dalam perhitungan, berikut merupakan persamaan \dot{Q}_c :

$$\dot{Q}_c = \frac{m \text{ cair } \Delta T}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Keterangan :

m = Massa air pada *cooling box* (kg)

c_{air} = Kalor jenis air (joule/ kg°C) ; $c_{\text{air}} = 4200$ joule/ kg°C
 ΔT = perubahan temperatur air pada *cooling box* (°C)
 Δt = perubahan waktu pada rentang percobaan (s)

- Kalor yang diabsorpsi oleh sisi dingin TEC

Terdapat nilai *datasheet* pada TEC-12706 yang digunakan untuk mencari nilai kalor yang akan diserap pada sisi dingin TEC. Pada tabel *datasheet* berikut terdapat nilai pada 2 kondisi, yaitu pada saat temperatur sisi panas TEC (T_h) bernilai 25°C dan 50°C [9]. Jika nilai T_h berada di antara nilai tersebut maka dilakukan interpolasi, jika berada di luar nilai tersebut dilakukan ekstrapolasi. Berikut merupakan tabel *datasheet*:

Tabel 2.1 Nilai *datasheet* TEC-12706

Hot side Temperature, T_h (°C)	25	50
Q_{max} (W)	50	57
ΔT_{max} (°C)	66	75
I_{max} (A)	6,4	6,4
V_{max} (V)	14,4	16,4
Module Resistance (ohm)	1,98	2,30

Berdasarkan informasi dari *datasheet* yang telah diketahui, nilai α , θ , dan R dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2 – 2.4

$$\alpha = \frac{V_{\text{max}}}{T_H} \quad (2.2)$$

$$R = \frac{V_{\text{max}}}{I_{\text{max}}} \left(\frac{T_h - \Delta T_{\text{max}}}{T_h} \right) \quad (2.3)$$

$$\theta = \frac{\Delta T_{\text{max}}}{V_{\text{max}} I_{\text{max}}} \left(\frac{2T_h}{T_h - \Delta T_{\text{max}}} \right) \quad (2.4)$$

Kemudian, kalor yang di absorpsi (Q_{ab}) di sisi dingin dapat dicari menggunakan persamaan kesetimbangan energi pada persamaan berikut:

$$\dot{Q}_{\text{ab}} = \alpha I T_c - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{1}{2} I^2 R \quad (2.5)$$

Keterangan :

T_c = Temperatur sisi dingin TEC (°C)

\dot{Q}_{ab} = kalor yang diserap pada sisi dingin TEC (W)

- Nilai Estimasi Perubahan Temperatur Air

Nilai penyerapan kalor oleh sisi dingin akan sama dengan nilai pelepasan kalor pada *water block* karena diasumsikan sistem terisolasi sempurna. Maka untuk mengetahui perubahan temperatur air pada *cooling box* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{\text{wb}} &= \dot{Q}_{\text{ab}} \\
 \frac{Q_{\text{wb}}}{t} &= \dot{Q}_{\text{ab}} \\
 m_{\text{wb}} c_{\text{air}} \Delta T &= \dot{Q}_{\text{ab}} t_{10\text{menit}} \\
 \Delta T &= \frac{\dot{Q}_{\text{ab}} t_{10\text{menit}}}{m_{\text{wb}} c_{\text{air}}} \quad (2.6)
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$t_{10\text{menit}}$ = Waktu selama 10 menit (s)

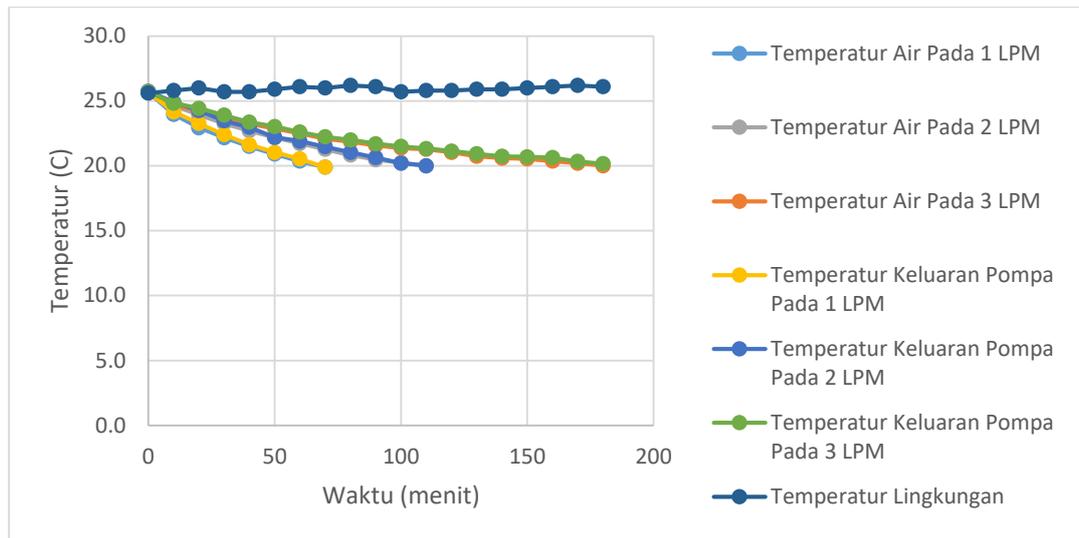
m_{wb} = massa air pada *water block* (Kg)

\dot{Q}_{ab} = Kalor yang diserap pada sisi dingin TEC (W)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penurunan Temperatur Air Pada Setiap Variasi Laju Aliran

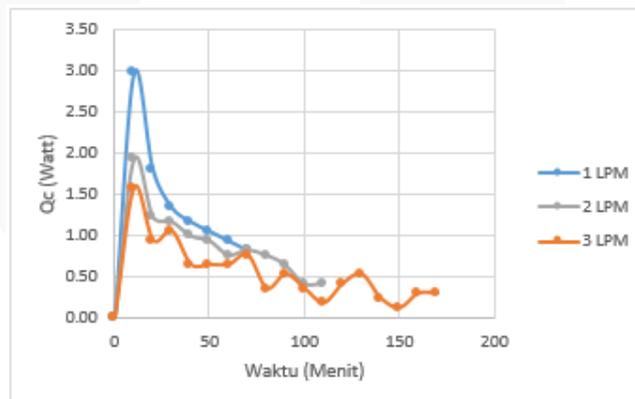
Berdasarkan pada percobaan hingga target temperatur air 20°C pada beberapa variasi laju aliran, terdapat perbedaan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 20°C. Berikut merupakan hasil penurunan temperatur pada berbagai variasi laju aliran:



Gambar 3.1 Grafik Perubahan Temperatur Pada Berbagai Variasi Laju Aliran

Untuk dapat menganalisis grafik di atas, maka perlu diketahui waktu untuk air mengalir di dalam *water block*. Didapatkan hasil bahwa dengan *water block* 8cm x 4cm x 1cm air yang mampu berada di dalamnya sebesar 0.017 L, sehingga waktu yang dibutuhkan pada masing-masing laju aliran untuk air 0.017 L mengalir yaitu pada 1 LPM selama 1.02 s, 2 LPM selama 0.51 s, dan 3 LPM selama 0.34 s. Berdasarkan waktu tersebut maka dapat disimpulkan bahwa semakin kecil laju aliran maka perubahan temperatur akan semakin cepat, hal ini dikarenakan penyerapan kalor oleh sisi dingin akan semakin lama.

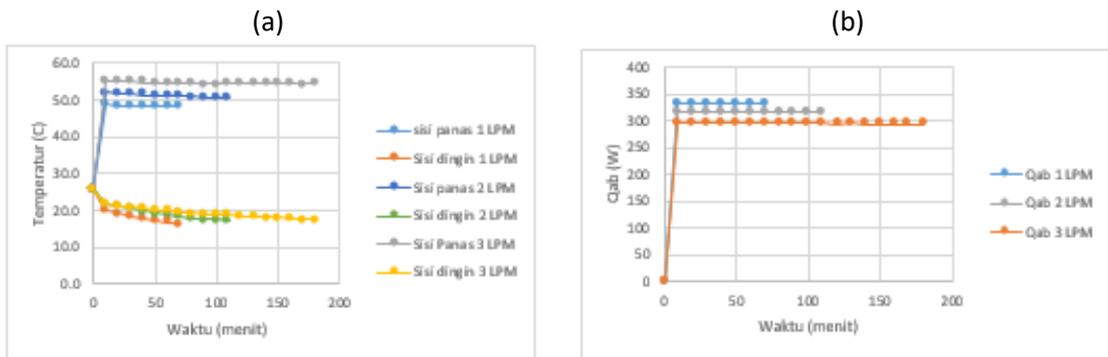
Pada grafik di atas juga terdapat perbedaan antara temperatur air di dalam *cooling box* dengan temperatur air keluaran pompa. Perbedaan temperatur yang terjadi sebesar 0.15°C pada setiap variasi laju aliran. Hal ini menandakan bahwa pompa menghasilkan *heat loss*, akan tetapi laju aliran tidak mempengaruhi besar dan kecilnya nilai *heat loss*. Penurunan temperatur air juga akan berhubungan terhadap nilai *cooling capacity* (\dot{Q}_c). Nilai \dot{Q}_c pada setiap variasi laju aliran air mengalami penurunan secara *fluktuatif* hingga mencapai kondisi *steady state* selama pengujian berlangsung. Semakin cepat penurunan temperatur air, maka nilai \dot{Q}_c semakin besar dan begitu juga sebaliknya. Berikut grafik dari nilai \dot{Q}_c :



Gambar 3.2 Grafik Nilai *Cooling Capacity* (\dot{Q}_c) Pada Air Di Dalam *Cooling Box*

3.2 Penyerapan Kalor Oleh Sisi Dingin TEC (\dot{Q}_{ab})

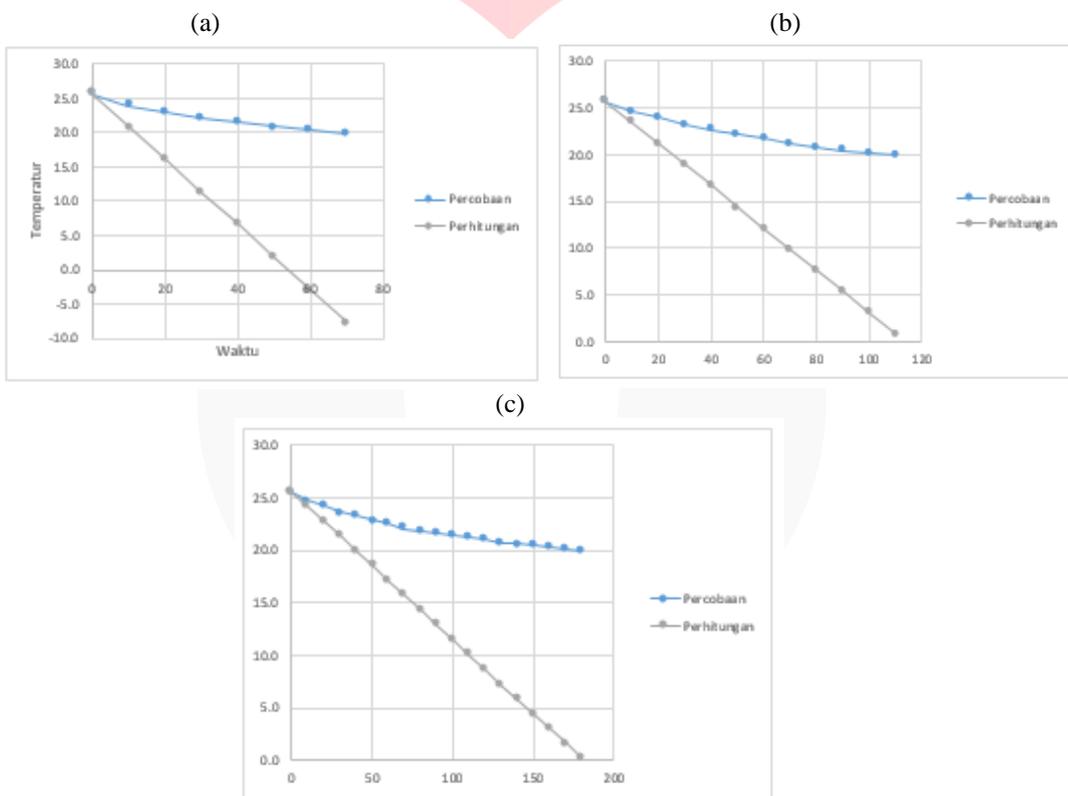
Penyerapan kalor oleh sisi dingin TEC (\dot{Q}_{ab}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kesetimbangan energi pada 2.5. Perhitungan \dot{Q}_{ab} pada setiap variasi laju aliran dilakukan setiap 10 menit, karena berdasarkan grafik pada gambar 3.3 (a) temperatur pada sisi panas dan dingin mengalami penurunan selama pengujian. Berikut merupakan grafik temperatur sisi panas dan dingin pada TEC dan nilai penyerapan kalor pada sisi dingin TEC (\dot{Q}_{ab}) pada beberapa variasi laju aliran:



Gambar 3.3 (a) Temperatur sisi panas dan dingin TEC (b) nilai penyerapan kalor oleh sisi dingin TEC (\dot{Q}_{ab})

Berdasarkan grafik pada gambar 3.3 (a) terdapat perbedaan temperatur pada setiap laju aliran, hal ini disebabkan karena semakin besar laju aliran maka beban pendinginan yang ditanggung oleh TEC akan semakin besar juga, yang mengakibatkan ketika 3 LPM temperatur pada sisi panas dan sisi dingin lebih tinggi jika dibandingkan dengan 1 LPM. Tingginya temperatur pada sisi panas dan dingin akan berakibat terhadap rendahnya nilai \dot{Q}_{ab} seperti pada gambar 3.3 (b). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil laju aliran maka penyerapan kalor pada sisi dingin TEC akan semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya.

3.3 Perbedaan Antara Estimasi Dan Aktual Dalam Penurunan Temperatur Hingga 20°C



Gambar 3.4 Penurunan Temperatur Pada (a) 1LPM, (b) 2LPM, dan (c) 3 LPM

Untuk menghitung nilai estimasi penurunan temperatur air dapat menggunakan persamaan 2.6. Dengan mengetahui nilai ΔT pada setiap 10 menit, maka dapat diketahui waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 20°C pada setiap variasi laju aliran. Didapatkan waktu yang dibutuhkan pada 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM adalah 11.88 menit, 25.33 menit, dan 39.79 menit. Perbedaan antara estimasi dan aktual terjadi cukup besar, hal ini dikarenakan bahwa kalor yang diserap oleh sisi dingin TEC pada nilai estimasi merupakan nilai penyerapan kalor secara keseluruhan dari air yang melewati *water block* tanpa adanya nilai *heat loss* pada saluran air dan *water block*. Nilai secara estimasi mungkin terjadi, namun hal tersebut sangat sulit terjadi dan dengan syarat bahwa sistem terisolasi secara sempurna sehingga tidak adanya nilai *heat loss*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada Tugas Akhir ini telah dibuat sistem pendingin dengan menggunakan *thermoelectric cooler* (TEC) untuk mendinginkan air di dalam *cooling box*. Pada sisi panas menggunakan *heatpipe* dan *fan heatsink* dengan tujuan agar dapat membuang kalor yang dihasilkan oleh sisi panas TEC, sehingga sisi dingin TEC dapat bekerja secara maksimal. Berdasarkan percobaan didapatkan bahwa pada laju aliran 1 LPM untuk mencapai 20°C dibutuhkan waktu 70 menit, 2 LPM dibutuhkan waktu 110 menit, dan 3 LPM dibutuhkan waktu 180 menit. Perbedaan ini disebabkan karena waktu untuk air mengalir di dalam *water block* dengan ukuran 8cm x 4cm x 1cm yang berbeda-beda pada setiap variasi laju aliran. Didapatkan hasil bahwa semakin kecil laju aliran maka akan semakin lama air berada di dalam *water block*, sehingga penyerapan kalor oleh sisi dingin TEC akan semakin besar. Perubahan temperatur akan berkaitan terhadap nilai *cooling capacity* air, karena semakin besar perubahan temperatur air pada *cooling box* maka nilai \dot{Q}_c juga akan semakin besar. Nilai *cooling capacity* pada *cooling box* berbeda-beda di setiap variasi laju aliran dan mengalami penurunan selama percobaan hingga mencapai kondisi *steady state*. Di dapatkan nilai \dot{Q}_c terbesar yaitu pada saat 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM.
2. Laju aliran berpengaruh terhadap temperatur sisi panas dan dingin TEC, semakin kecil laju aliran maka temperatur pada sisi dingin dan panas juga akan semakin rendah. Perbedaan temperatur sisi panas dan dingin pada setiap variasi laju aliran akan menyebabkan nilai \dot{Q}_{ab} yang juga berbeda. Nilai \dot{Q}_{ab} dari terbesar hingga terkecil yaitu pada 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM.
3. Hasil perubahan temperatur secara estimasi memiliki perbedaan yang cukup besar dibandingkan secara aktual. Hal ini disebabkan karena secara estimasi air yang mengalir melewati *water block* akan seluruhnya terserap kalornya tanpa adanya pengaruh *heat loss*, sehingga nilai ΔT setiap 10 menit memiliki nilai yang besar. Hasil estimasi merupakan kondisi yang ideal dimana tidak ada pengaruh *heat loss*, kondisi ini sangat sulit untuk tercapai karena sistem harus benar-benar terisolasi.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Amrullah, Z. Djafar, and W. H. Piarah, "Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi Refrigeran," *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [2] M. Mirmanto, S. Syahrul, and Y. Wirdan, "Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2018.
- [3] M. Mirmanto, R. Sutanto, and D. Putra, "Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Varuasi Laju Aliran Massa Air Pendingin," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, p. 44, 2018.
- [4] M. Ahsani, A. Prijo, "Rancang Bangun Pendingin Ruangan Portable Dengan Memanfaatkan Efek Perbedaan Suhu Pada Thermo Electric Cooler (TEC)", 2015.
- [5] L. Nulhakim, "Uji Unjuk Kerja Pendingin Ruangan Berbasis Thermo Electric Cooling", 2017.
- [6] Y. Dai, R. Wang, and L. Ni, "Experimental investigation and analysis on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 77, no. 4, pp. 377–391, 2003.
- [7] B. Ohara, R. Sitar, J. Soares, P. Novisoff, A. Nunez-Perez, and H. Lee, "Optimization Strategies for a Portable Thermoelectric Vaccine Refrigeration System in Developing Communities," *Journal of Electronic Materials*, vol. 44, no. 6, pp. 1614–1626, May 2014.
- [8] P. Bagas and A. Made, "Aplikasi Pendingin Elektrik TEC1-12706 Dengan Water Cooling Pada Cooler Box Berbasis Semikonduktor," vol 04, no 02 Tahun 2017, hal 61-66
- [9] T. A. Ajiwiguna, R. Nugroho, and A. Ismardi, "Method for thermoelectric cooler utilization using manufacturer's technical information," 2018.