

## KINERJA *THERMOELECTRIC* PADA KOTAK PENDINGIN BERDASARKAN RANGKAIAN *THERMOELECTRIC* DAN PUTARAN FAN WIND TUNNEL

### Munawir

Mahasiswa S2  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
Email:  
Munawirlaco28@gmail.com

### Mega Nur Sasongko

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
Email:  
megasasongko@ub.ac.id

### Nurkholis Hamidi

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Industri  
Email:  
hamidi@ub.ac.id

*A thermoelectric cooler (TEC ) is a component of an electric solid-state cooler that works as a heat pump in the cooling process. Utilizing the peltier effect that is when an electric current is flowed heat absorption occurs on both sides of the thermoelectric and the release of heat on the other side. The use of thermoelectric as a coolant in cool box systems has been widely studied. The purpose of this study was to determine the performance of the cooler using thermoelectric based on the circuit and air velocity in the wind tunnel. The studied performance includes temperature difference, heat absorption, and coefficient of performance. The method used in this study is a real experimental method, with research variables namely series and parallel thermoelectric series and wind tunnel air velocity. Data were taken in the form of cool room temperature cold side temperature, hot side temperature, heatsink temperature, and ambient temperature. Thermoelectric connectivity electrically uses series and parallel circuits and is thermally arranged in series. The results showed that the thermoelectric circuit and wind tunnel air velocity affect the performance of the thermoelectric. Thermoelectric with series circuit produces the highest COP absorption compared to the parallel circuit. The highest performance thermoelectric series is obtained at an airspeed of 9.8 m/s. in these conditions the temperature difference (AT) produced reaches 19°C. the heat absorption ( $q_c$ ) reaches 34.26 watts and the COP reaches 0.89.*

**Keywords:** Cooler Box, Thermoelectric Module, Series Circuit, Parallel Circuit, 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. Selain itu, sebagian besar kulkas konvensional mengandung *Chloro Flouro Carbon* (CFC). Jika CFC terlepas ke udara maka akan berdampak pada lapisan ozon semakin menipis. Hal ini disebabkan adanya radiasi matahari atau terperangkapnya panas matahari oleh gas *Chloro Flouro Carbon* [1]. Mempercepat pemanasan global maka perlu adanya mesin pendingin yang tidak menggunakan CFC, diantaranya mesin pendingin yang menggunakan *thermoelektrik*. Pendingin *thermoelektrik* lebih unggul dibandingkan dengan mesin pendingin konvensional yang menggunakan kompresi uap. Keunggulannya adalah tahan lama, mudah dioperasikan, kompak, ringan dan perawatan mudah [2]. Disamping itu, juga dapat mengurangi penggunaan listrik untuk menghasilkan efek pendinginan dan juga memenuhi tantangan energi saat ini. Selain itu, pendingin *thermoelektrik* memiliki kelemahan yaitu tidak cocok untuk mesin pendingin berkapasitas besar, dan *coefficient of performance* masih sangat rendah [3]. Kinerja *thermoelektrik* dengan variasi daya input dan beban pendinginan. Daya input tinggi COP semakin rendah, semakin besar beban pendinginan semakin lama stabilitas suhu kotak pendingin dapat tercapai [4].

Kinerja *thermoelektrik* beberapa variasi posisi *thermoelektrik* dengan menggunakan box pendingin ukuran 215 mm X 175 mm X 130 mm ketebalan dinding box 50 mm. Posisi *thermoelektrik* berada dibawah, diatas dan di dinding. Dengan demikian, diperoleh COP menurun terhadap waktu dan posisi terbaik penempatan *thermoelektrik* adalah di dinding [5]. Kinerja kotak pendingin menggunakan 2 unit pembuang

panas yaitu *single fan heat pipe* (SFHP) dan *heat sink fin-fan* (HSFF), *single fan heat pipe* memiliki *coefficient of performance* yang lebih tinggi dibandingkan *heat sink fin-fan* [6].

Perbedaan jumlah (2 dan 3) modul pendingin *thermoelektrik* pada kotak pendingin minuman. Penggunaan 3 modul *thermoelektrik cooling* dengan penambahan *fan* dan aluminium blok memiliki COP dan daya serap kalor yang lebih tinggi dengan temperatur mencapai 14,3 °C [7]. Peningkatan laju aliran fluida pendingin pada *heat sink* berefek pada peningkatan laju lepasan kalor pada sisi panas dan arus listrik TEC yang diikuti dengan penurunan temperatur sisi dingin TEC. Laju serapan kalor pada sisi dingin TEC yang relatif konstan menyebabkan COP sistem mengalami penurunan seiring dengan peningkatan laju aliran fluida pendingin [8]. Kemampuan elemen peltier dalam melakukan proses pendinginan tergantung pada jenis transfer panasnya, transfer panas dengan memanfaatkan satu elemen peltier dengan *heatsink* dan *fan* lebih baik daripada menggunakan pompa dua elemen peltier [9]. Tegangan yang semakin tinggi pada sistem pendingin mengakibatkan muka suhu ruang peti, *heat pipe* dan *heat sink* semakin rendah [10]. Penyusunan dan jumlah elemen peltier TEC alat transportasi ikan segar menggunakan 2 buah TEC dan 4 buah TEC yang disusun secara tunggal dan 2 buah TEC yang disusun secara ganda. Dengan demikian, COP yang tertinggi terjadi pada 2 buah elemen yang disusun secara ganda. Hal ini disebabkan daya input berbanding lurus terhadap daya serap kalor [11]. Penggunaan 1 *cascade* yang aktif pada *thermoelektrik cooling* pada *box portable* diperoleh kinerja *performance* yang lebih tinggi daripada penggunaan 2 *cascade* dan 3 *cascade* [12].

Beberapa hasil penelitian diatas terlihat bahwa hanya mengamati kinerja dari *thermoelektrik* berdasarkan jumlah modul *thermoelektrik* yang digunakan, posisi dari *thermoelektrik* itu sendiri dan bagaimana pengoperasian *thermoelektrik*. Namun belum diamati bagaimana kinerja dari *thermoelektrik* berdasarkan rangkaian *thermoelektrik* dan kecepatan pembuangan kalornya. Rangkaian *thermoelektrik* sangatlah penting dilakukan karena sebuah rangkaian membawa pengaruh yang signifikan dan membuat sebuah konstruksi bagaimana kalor lebih cepat diserap dan capaian temperatur ruang lebih rendah. Oleh karena itu tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kinerja (beda temperatur, kalor yang diserap, dan COP) dari pendinginan menggunakan *thermoelektrik* berdasarkan rangkaian dan kecepatan putaran fan wind tunnel

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan metode *eksperimental*. Alat penelitian yang digunakan terdiri dari kotak *Styrofoam* dengan ukuran 310 x 190 x 240 mm dengan ketebalan 30 mm. Modul *thermoelektrik* yang digunakan adalah type TEC1 12706 dengan ukuran 40 x 40 x 3.8 mm memiliki daya maksimum 9,2 watt seperti pada **Gambar 1**.



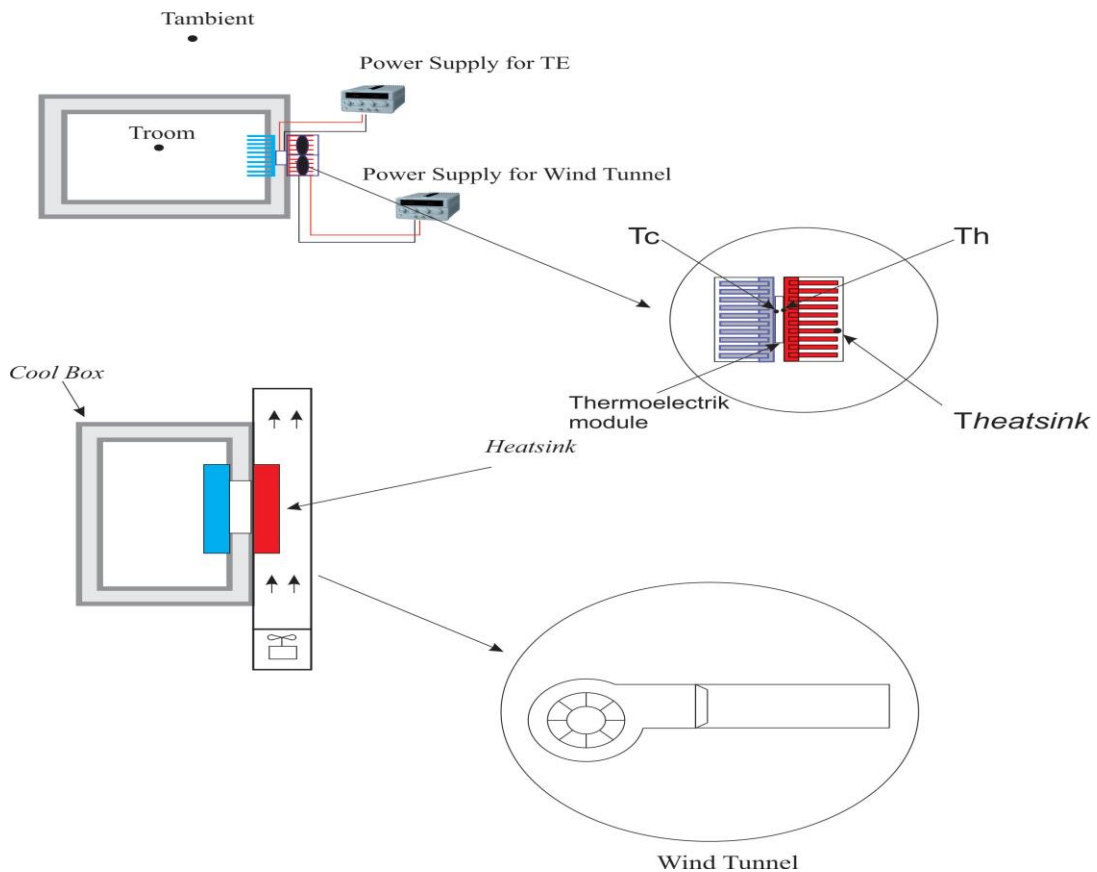
**Gambar 1:** Modul thermoelektrik

Penggunaan *termokopel* sebagai sensor untuk mengukur temperatur udara, adapun jenis *termokopel* yang digunakan adalah *termokopel* jenis tipe K dengan range pengukuran –100 hingga 1250 °C. Selain itu, alat pembaca variabel yang diukur adalah data logger jenis DAQNav SDK, daya sebesar 5V@60mA;Max5V@400mA dan input range 5 – 30 V DC. Untuk mengukur arus listrik, tegangan dan hambatan listrik menuju modul *thermoelektrik* menggunakan multimeter.

### 2.2 Instalasi Penelitian

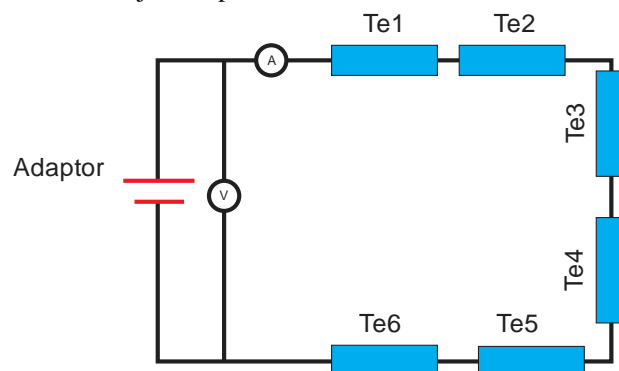
Instalasi pengujian yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 2**. Kotak *styrofoam*, *thermoelektrik*, *heatsink* dan kipas dirangkai menjadi kotak pendingin yang utuh. Pada bagian dalam kotak *styrofoam* dipasang *coolsink* dan *termokopel* untuk mengukur temperatur ruang kotak pendingin. Antara *coolsink* dan *heatsink* dipasang modul *thermoelektrik*. Temperatur sisi dingin modul *thermoelektrik* diukur dengan menggunakan *termokopel* kedua yang dipasang antara sisi dingin modul dan *coolsink*. Temperatur sisi panas modul *thermoelektrik* diukur menggunakan *termokopel* ketiga yang dipasang antara sisi panas modul dan *heatsink*. Agar mendapatkan kontak permukaan yang lebih baik sisi dingin dan panas modul

*thermoelektrik* dioleskan termal pasta. Untuk mempercepat pembuangan kalor modul *thermoelektrik* pada bagian *heatsink* dipasang *wind tunnel* dengan menggunakan *blower* yang bisa divariasikan kecepatan udaranya. Untuk mengetahui panas yang mengalir dari sisi panas modul *thermoelektrik* ke *heatsink* pada bagian ujung *heatsink* dipasang *termokopel* keempat. Data temperatur dari masing-masing *termokopel* dapat dilihat dari perangkat komputer setelah dihubungkan dengan data *logger*. Modul *thermoelektrik* dan *blower* masing-masing dihubungkan menggunakan *power supply*. Menghidupkan *power supply* dan siap untuk melakukan pengambilan data.



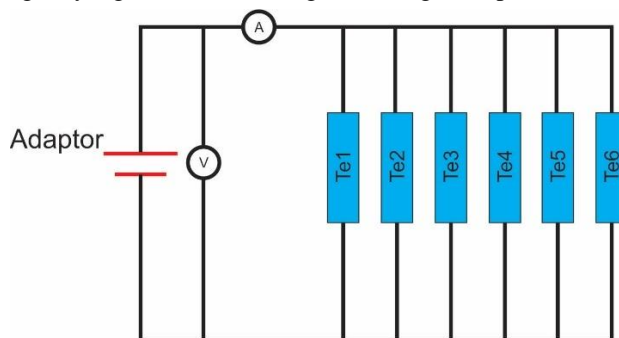
**Gambar 2:** Skema instalasi penelitian

Bila dua atau lebih lampu (tahanan R1 dan R2 dsb) dirangkai di dalam sirkuit, hanya ada jalur dimana arus dapat mengalir. Tipe penyambungan seperti ini, disebut rangkaian seri. Rangkaian seri dengan 6 modul TEC yang disusun secara menyebar. Adapun konektivitas kabelnya sebagai berikut: kabel merah (+) TEC 1 dihubungkan dengan kabel hitam (-) TEC 6, kabel hitam (-) TEC 1 dihubungkan kabel merah (+) TEC berikutnya. Rangkaian seri ditunjukkan pada **Gambar 3**.



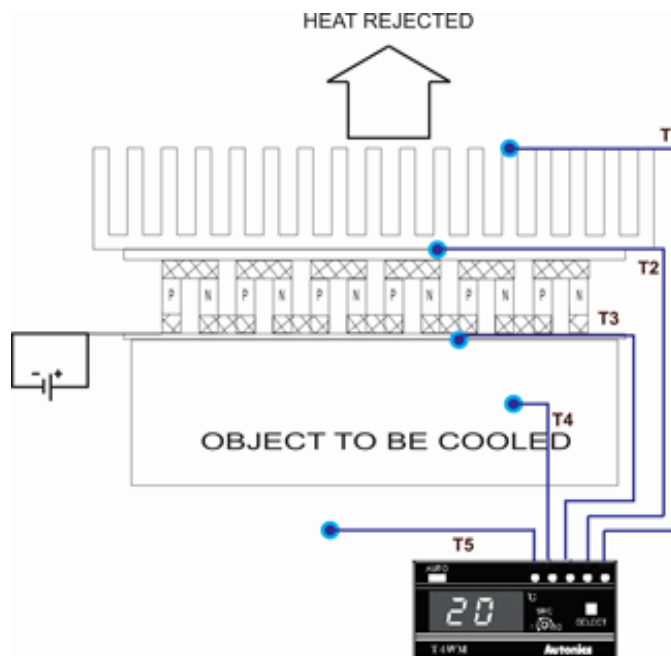
**Gambar 3:** Rangkaian seri

Rangkaian paralel, dua atau lebih tahanan ( $R_1, R_2$ , dst) dihubungkan di dalam sirkuit, salah satu dari setiap ujung *resistance* dihubungkan ke bagian yang bertegangan tinggi (positif) dari sirkuit dan ujung lainnya dihubungkan ke bagian yang lebih rendah (negatif). Rangkaian paralel ditunjukkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4:** Rangkaian Paralel

Koordinat pengambilan data temperatur ditunjukkan pada gambar 5. Dimana T1 adalah temperatur ujung heatsink, T2 temperatur sisi panas thermoelectric, T3 Temperatur sisi dingin *thermoelectric*, T4 temperatur ruang kotak pendingin dan T5 Temperatur ambient. Koordinat pengambilan data ditunjukkan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5:** Kordinat pengambilan data

### 2.3 Data Reduksi

Penelitian ini menggunakan data reduksi untuk menganalisis hasil *eksperimen*. Performa *thermoelectric* tergantung dari bahan semi konduktor yang digunakan. Terdapat tiga sifat bahan *thermoelectric* yaitu koefisien seebeck seperti pada persamaan 1 dan 2 [6], konduktivitas termal seperti pada persamaan 3 dan 4 [6] dan tahanan elektrik seperti pada persamaan 5 dan 6 [6]

Koefisien seebeck

$$\alpha = 2.\alpha_m.N \tag{1}$$

Koefisien Seebeck elemen

$$\alpha_m = \alpha_0 + \alpha_1 T_{ave} + \alpha_2 T_{ave}^2 \tag{2}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\alpha_m &= \text{Koefisien seebeck elemen [V/K]} \\ \alpha_0 &= 2.2224 \times 10^{-5} \\ \alpha_1 &= 9.306 \times 10^{-7} \\ \alpha_2 &= -9.905 \times 10^{-10} \\ T_{ave} &= (T_c + T_h)/2\end{aligned}$$

Konduktivitas termal

$$K = 2 \cdot K_m \cdot N \cdot G \quad (3)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}K_m &= \text{Konduktivitas termal elemen (W/cmK)} \\ G &= \text{Faktor Geometri}\end{aligned}$$

Dalam penelitian ini, faktor geometri di dapatkan melalui pengukuran tegangan dan arus listrik TEC yang kemudian dengan menggunakan *AZTEC software; Version 4.0, Laird Technologies*, didapatkan faktor geometri yang sesuai dengan TEC1 12706 yang digunakan adalah 0,121.

Konduktivitas termal elemen

$$K_m = K_0 + K_1 T_{ave} + K_2 T_{ave}^2 \quad (4)$$

Dimana ;

$$\begin{aligned}K_m &= \text{Konduktivitas termal elemen [W/cmK]} \\ K_0 &= 6.2605 \times 10^{-2} \\ K_1 &= -2.777 \times 10^{-4} \\ K_2 &= 4.131 \times 10^{-7} \\ T_{ave} &= (T_c + T_h)/2\end{aligned}$$

Tahanan Elektrik

$$R = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \quad (5)$$

Tahanan Elektrik elemen

$$\rho_m = \rho_0 + \rho_1 T_{ave} + \rho_2 T_{ave}^2 \quad (6)$$

Dimana ;

$$\begin{aligned}\rho_0 &= 5,112 \times 10^{-5} \\ \rho_1 &= 1,634 \times 10^{-6} \\ \rho_2 &= 6,279 \times 10^{-9} \\ T_{ave} &= (T_c + T_h)/2\end{aligned}$$

Terjadinya perpindahan panas dari dalam *cool box* dan panas yang masuk ke dalam *cool box* merupakan beban panas yang harus dipindahkan dari dalam ruangan *cool box* ke lingkungan seperti pada persamaan 7 dan 8 [6]

Kalor yang dilepaskan pada sisi panas TEC

$$\dot{q}_c = 2N \left[ \alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T + \left( \frac{I^2 \rho}{2G} \right) \right] \quad (7)$$

Kalor yang diserap pada sisi dingin

$$\dot{q}_h = 2N \left[ \alpha_m \cdot I \cdot T_h - K_m \cdot \Delta T + \left( \frac{I^2 \rho}{2G} \right) \right] \quad (8)$$

Figure of merit, ( $Z$ ) merupakan parameter gabungan dari tiga jenis sifat pada *thermoelectric* dan sangat berpengaruh besar terhadap pendinginan yang terjadi. Pendinginan *thermoelectric* sangat dipengaruhi oleh nilai  $Z$ . Semakin besar nilai  $Z$  maka nilai  $\Delta T$  semakin tinggi pula. Nilai  $Z$  dapat menunjukkan kualitas dari elemen *thermoelectric* seperti pada persamaan 9 [6]

$$Z = \frac{\alpha_m^2}{\rho \cdot K_m} \quad (9)$$

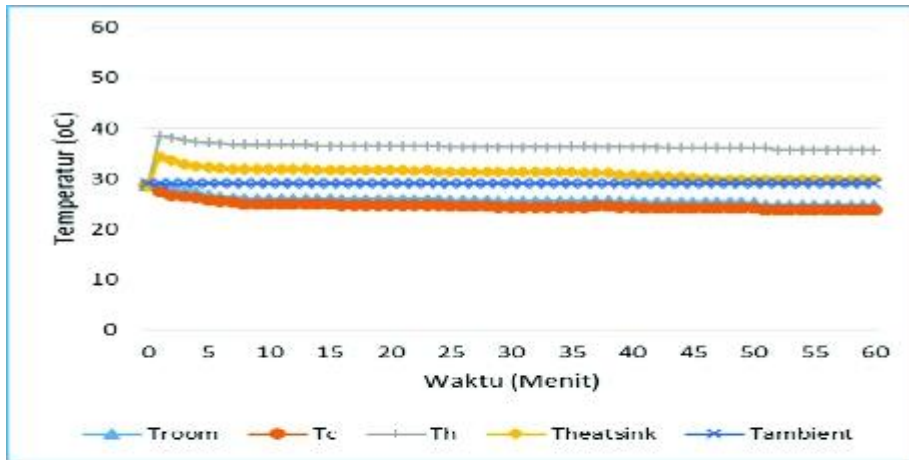
COP adalah indikator kinerja dari kotak pendingin yaitu disebut dengan *coefficient of performance*. Unjuk kerja dari kotak pendingin dapat dihitung dengan persamaan 10 [6]

$$COP = \frac{\dot{q}_c}{P_{in}} \quad (10)$$

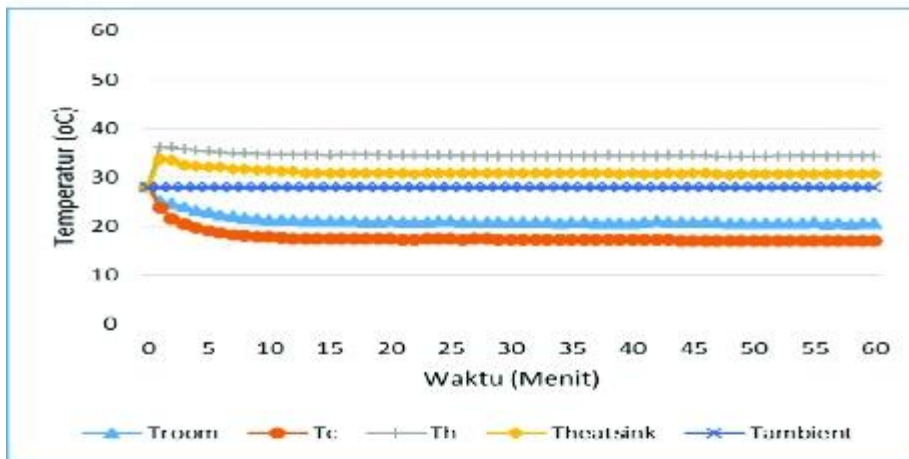
### 3 HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik. Sebelum menampilkan hasil-hasil penelitian berupa jawaban dari pertanyaan ataupun tujuan penelitian, maka perlu disajikan terlebih dahulu perilaku temperatur seiring bertambahnya waktu pengamatan. **Gambar 6** dan **Gambar 7** menampilkan temperatur variabel bebas yang diperoleh dari eksperimen yaitu temperatur ruangan, temperatur sisi dingin thermoelectric, temperatur sisi panas thermoelectric, temperatur heatsink, dan temperatur lingkungan.

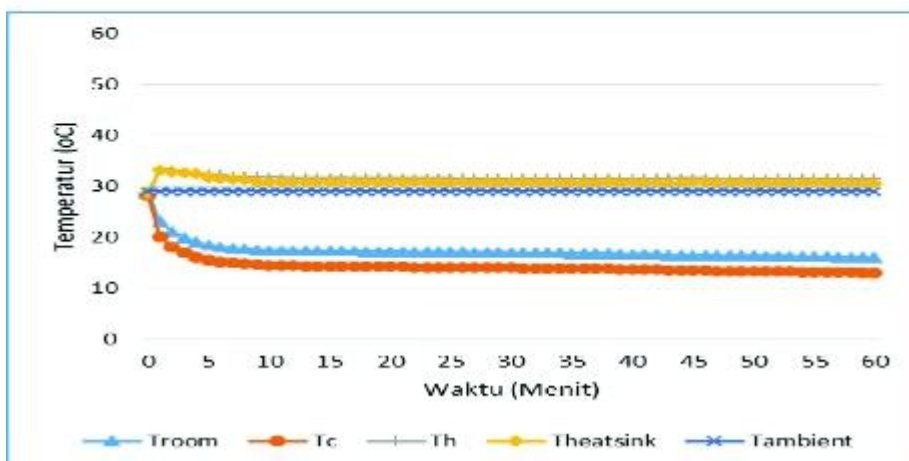
Rangkaian seri



a



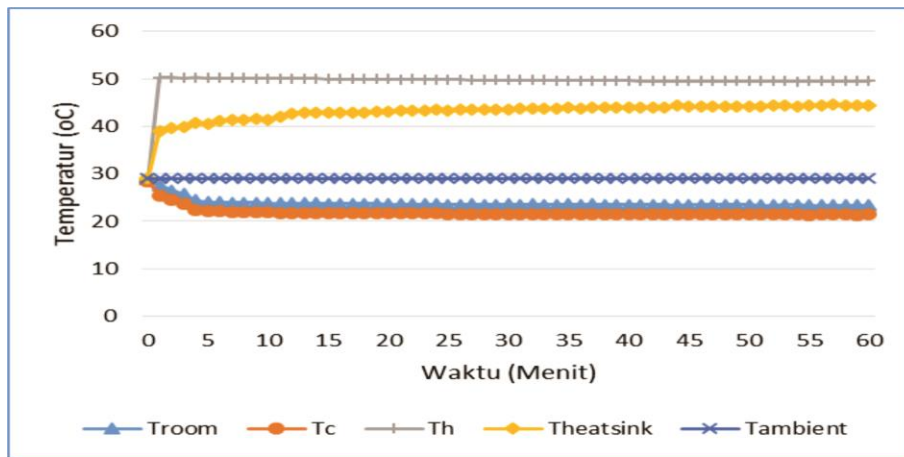
b



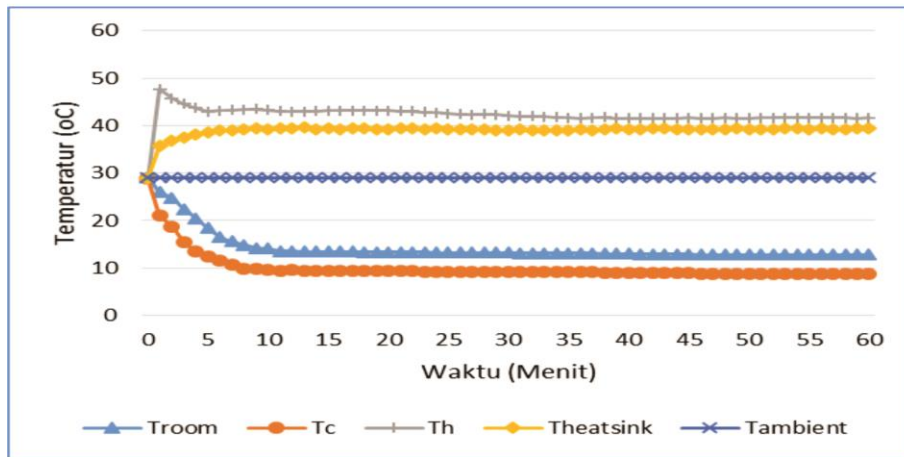
c

**Gambar 6:** Tren temperatur terhadap waktu ; (a) Kecepatan udara 4,2 m/s, (b) Kecepatan Udara 6 m/s dan (c) Kecepatan udara 9,8 m/s.

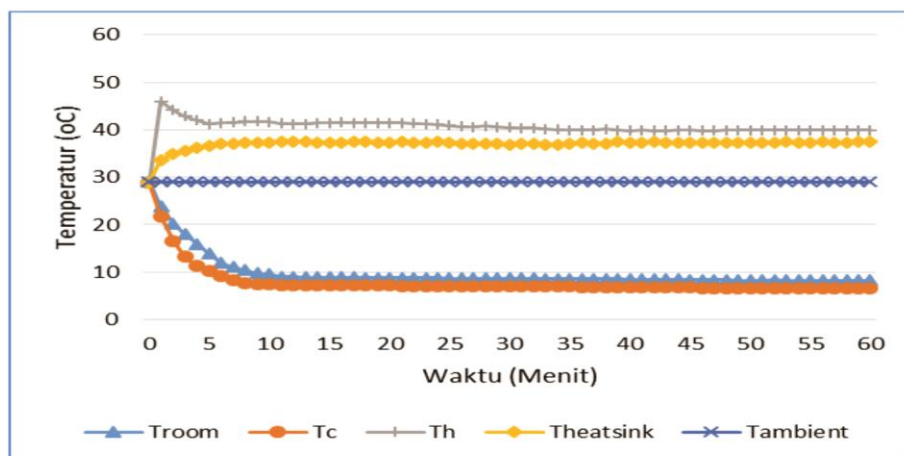
Rangkaian paralel



a



b

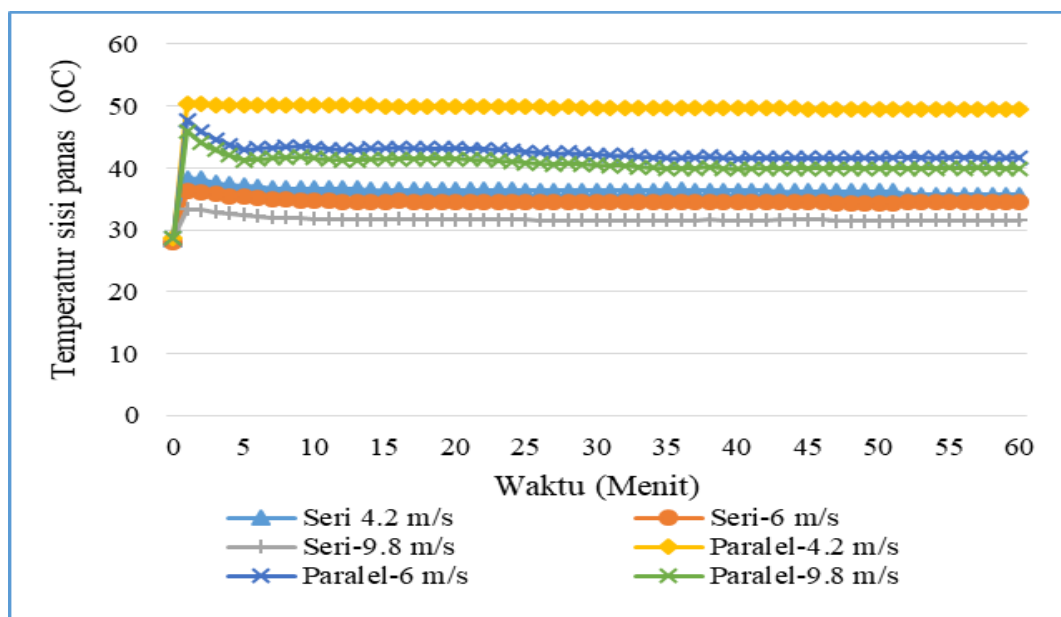


c

**Gambar 7:** Tren Temperatur terhadap Waktu ; (a) Kecepatan Udara 4,2 m/s, (b) Kecepatan Udara 6 m/s dan (c) Kecepatan Udara 9,8 m/s.

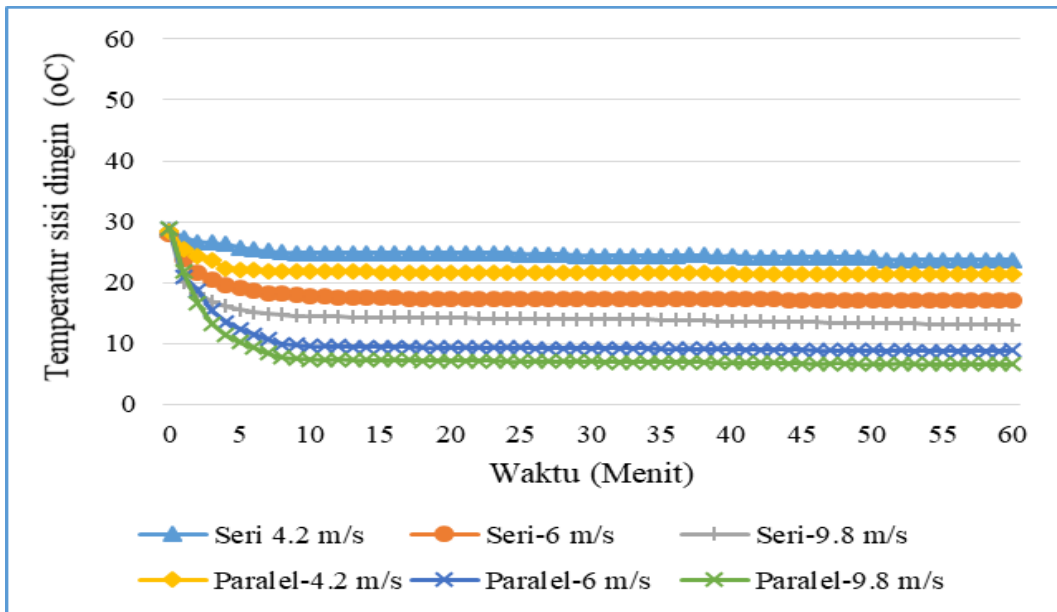


**Gambar 6** dan **Gambar 7** menunjukkan bahwa temperatur ruangan, temperatur sisi dingin modul *thermoelectric*, temperatur sisi panas modul *thermoelectric* dan temperatur *heatsink* masing-masing menurun seiring bertambahnya waktu pengamatan atau waktu kerja kotak pendingin. Penurunan paling signifikan adalah dari nol hingga menit ke 9. Setelah itu temperatur tetap menurun tetapi sangat kecil penurunannya dan bahkan hampir konstan. Bila temperatur-temperatur konstan maka kondisi mencapai *steady*. Menurunnya suhu ruangan disebabkan panas didalam ruangan kotak pendingin diserap oleh *heatsink* dalam yang kemudian diteruskan ke sisi dingin modul *thermoelectric*. 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 sebelumnya. Fenomena seperti ini terjadi karena *thermoelectric* tidak seketika menjadi dingin, artinya memerlukan waktu untuk mencapai temperatur minimum yang mampu diraihinya.



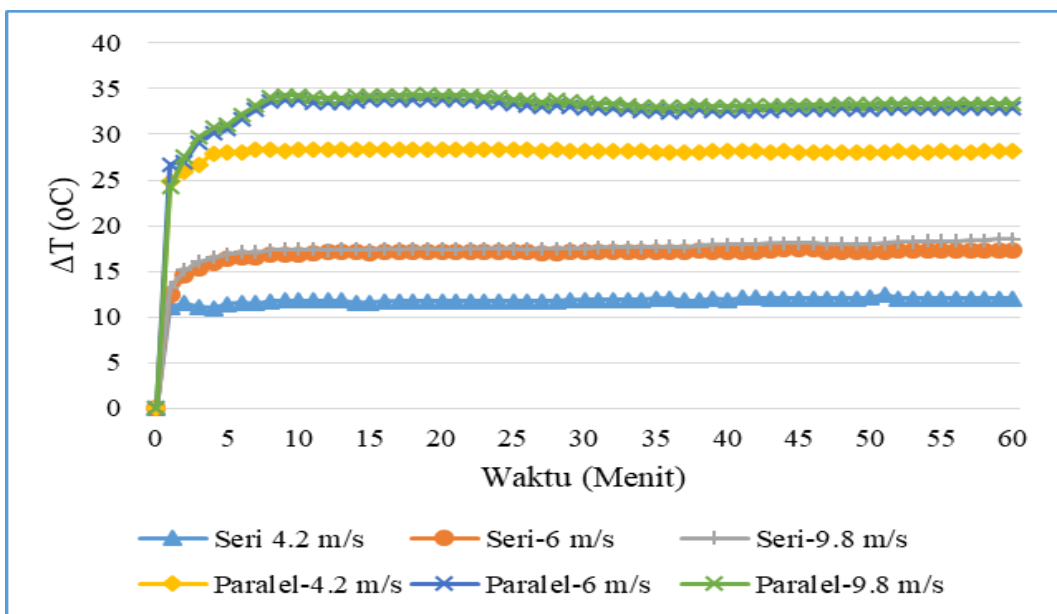
**Gambar 8:** Hubungan antara temperatur sisi panas thermoelectric terhadap waktu

Selain rangkaian *thermoelectric*, komponen pembuang panas juga memiliki pengaruh yang besar terhadap nilai kalor sisi panas *thermoelectric* ( $Th$ ). **Gambar 8** menunjukkan bahwa rangkaian paralel dengan kecepatan udara 4,2 m/s memiliki kalor sisi panas paling besar. Kalor sisi panas yang dicapai sebesar 49,5 °C. jika dibandingkan dengan rangkaian paralel dengan kecepatan udara 9,8 m/s kalor sisi panasnya lebih rendah sebesar 40 °C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara dapat membuang panas lebih cepat. Rangkaian paralel memiliki kalor sisi panas lebih besar dibandingkan rangkaian seri. Rangkaian paralel dengan kecepatan udara 9,8 m/s kalor sisi panas yang dicapai sebesar 40 °C sedangkan untuk rangkaian seri dengan kecepatan udara 9,8 m/s kalor sisi panas yang dicapai sebesar 31,5 °C. Perubahan konfigurasi rangkaian memberikan pengaruh terhadap perubahan arus dan daya yang diberikan. Semakin besar daya yang diberikan (beban yang sama) maka nilai kalor pada sisi panas ( $Th$ ) akan semakin besar. Dari grafik terlihat bahwa perubahan temperatur pada modul elemen peltier terlihat semakin tinggi daya yang diberikan maka akan semakin tinggi pula nilai dari temperatur sisi panasnya [13]. Hal ini mendukung pernyataan bahwa nilai kalor sisi panas merupakan jumlah dari nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya input dari peltier.



**Gambar 9:** Hubungan antara temperatur sisi dingin *thermoelectric* dengan waktu

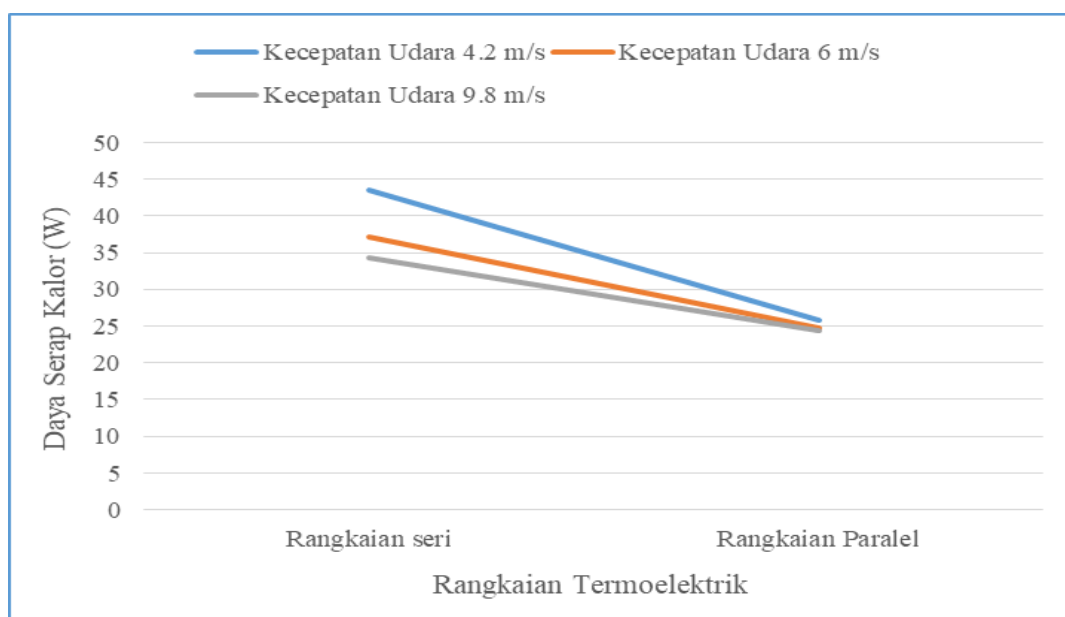
Rangkaian *thermoelektrik* memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap temperatur sisi dingin *thermoelektrik*. Dari **Gambar 9** terlihat bahwa capaian suhu yang paling rendah dicapai rangkaian paralel dengan kecepatan udara 9,8 m/s. temperatur sisi dingin yang dapat dicapai sebesar 6,6 °C sedangkan rangkaian seri dengan kecepatan udara 9,8 m/s capaian temperatur sisi dinginnya mencapai 13 °C. Capaian suhu sisi dingin tiap-tiap elemen peltier tergantung jumlah arus yang digunakan. Penelitian yang dilakukan menunjukkan arus listrik yang maksimal didapatkan suhu sisi dingin elemen peltier yang rendah pada jumlah TEC yang sama [14]. Penggunaan elemen peltier rangkaian paralel diperoleh capaian suhu yang rendah dibandingkan dengan rangkaian seri. Hal tersebut disebabkan banyaknya arus yang melalui elemen peltier. Banyaknya arus listrik yang melalui elemen peltier rangkaian seri lebih sedikit sehingga panas yang dipindahkan juga akan semakin kecil. Pada rangkaian paralel masing-masing modul mendapatkan arus langsung dari sumber sehingga arus listrik yang ditimbulkan sangat besar [12].



**Gambar 10:** Hubungan antara perbedaan temperatur terhadap waktu

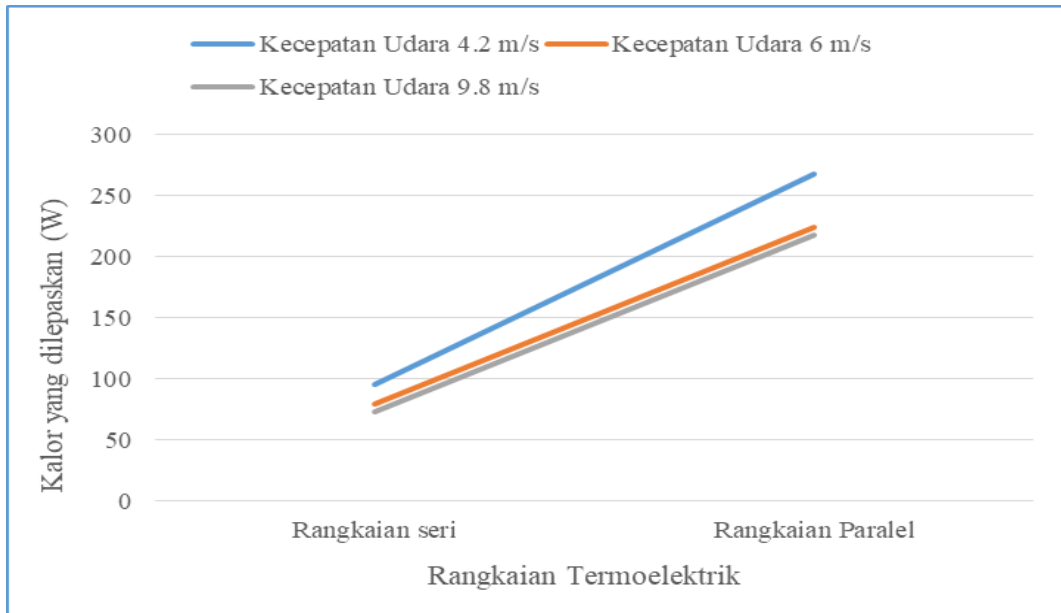
**Gambar 10** memperlihatkan hubungan antara beda temperatur dengan rangkaian *thermoelektrik*. Beda temperatur ( $\Delta T$ ) terbagi menjadi dua kelompok berdasarkan rangkaian *thermoelektrik*, dimana tampak bahwa pada rangkaian seri menghasilkan  $\Delta T$  yang lebih rendah dibandingkan dengan rangkaian paralel. Pada

rangkaian yang sama, beda temperatur sisi dingin dan sisi panas *thermoelektrik* juga mengalami perubahan. Kecepatan udara 4,2 m/s menghasilkan  $\Delta T$  yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan udara 9,8 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan laju aliran udara pendingin pada rangkaian *thermoelektrik* yang sama secara signifikan menghasilkan perubahan  $\Delta T$ . Beda temperatur merupakan selisih antara temperatur sisi panas ( $T_h$ ) dengan temperatur sisi dingin ( $T_c$ ). Rangkaian *thermoelektrik* memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap beda temperatur. Beda temperatur yang paling tinggi ditunjukkan rangkaian paralel dengan kecepatan udara 9,8 m/s yaitu 33,4 °C dan beda temperatur paling rendah ditunjukkan rangkaian seri dengan kecepatan udara 4,2 m/s yaitu 12 °C. Hal ini menunjukkan selisih antara temperatur sisi panas *thermoelektrik* dengan temperatur sisi dingin *thermoelektrik* berbeda-beda. Dari grafik bahwa dengan merubah rangkaian *thermoelektrik* dan menambah kecepatan udara pembuangan kalor maka beda temperatur ( $\Delta T$ ) yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan kecepatan udara yang lebih tinggi akan lebih membantu proses konveksi perpindahan panas dari sisi panas *thermoelektrik* ke *heatsink* dan ke lingkungan. Sejalan penelitian yang dilakukan dimana peningkatan laju aliran fluida pada *heatsink* berdampak pada peningkatan laju lepasan kalor pada sisi panas dan arus listrik *thermoelektrik* yang diikuti penurunan temperatur sisi dingin *thermoelektrik* [15].



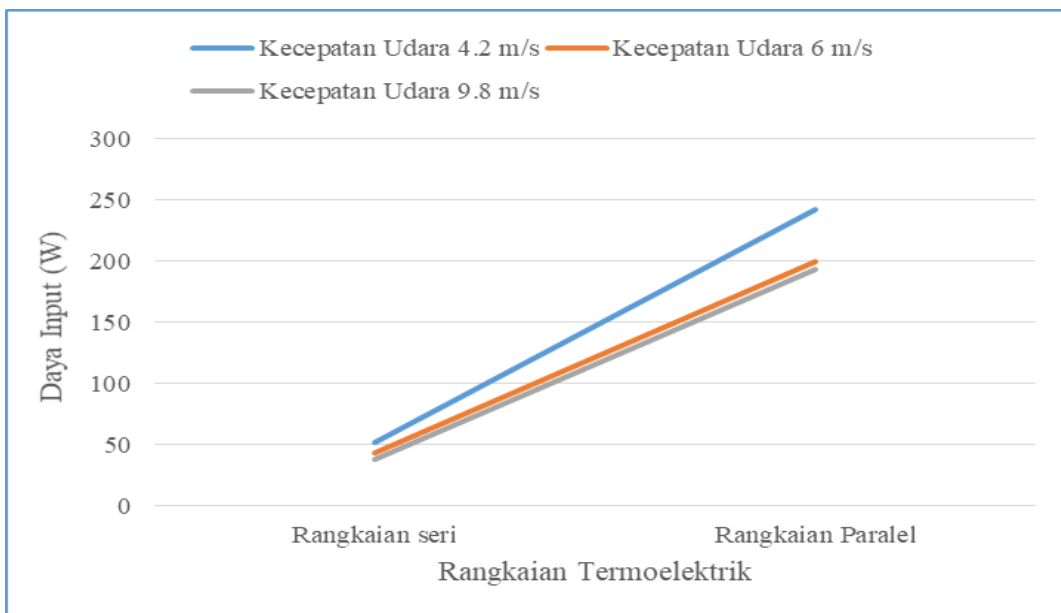
**Gambar 11:** Pengaruh rangkaian *thermoelektrik* terhadap daya serap kalor

Daya serap kalor TEC ( $Q_c$ ) ditunjukkan pada **Gambar 11**. Tampak bahwa daya serap kalor terbagi dua kelompok berdasarkan rangkaian *thermoelektrik*. Daya serap kalor pada rangkaian seri lebih tinggi dibandingkan dengan daya serap kalor rangkaian paralel. Meski perbedaan daya serap kalor pada rangkaian yang sama tidak begitu besar, namun daya serap kalor tertinggi terjadi pada rangkaian seri dengan kecepatan udara 4,2 m/s dengan rata-rata sebesar 43,52 W. Hal tersebut disebabkan karena nilai dari daya serap kalor ( $Q_c$ ) berbanding lurus dengan nilai arus yang ditimbulkan. Semakin besar tegangan listrik maka arus yang ditimbulkan juga semakin besar, semakin besar hambatan listrik maka arus yang ditimbulkan juga semakin kecil. Nilai daya serap kalor ( $Q_c$ ) juga berbanding lurus dengan capaian temperatur sisi dingin *thermoelektrik*. Rangkaian seri capaian temperatur sisi dingin *thermoelektrik* dengan arus yang ditimbulkan lebih optimal sehingga daya serap kalornya lebih tinggi. Koneksitas rangkaian paralel semua percabangan dilalui arus listrik langsung dari sumber sehingga daya serap kalornya sangat besar tetapi tidak sebanding dengan daya input yang diberikan [12].



**Gambar 12:** Pengaruh rangkaian thermoelectric terhadap kalor yang dilepaskan

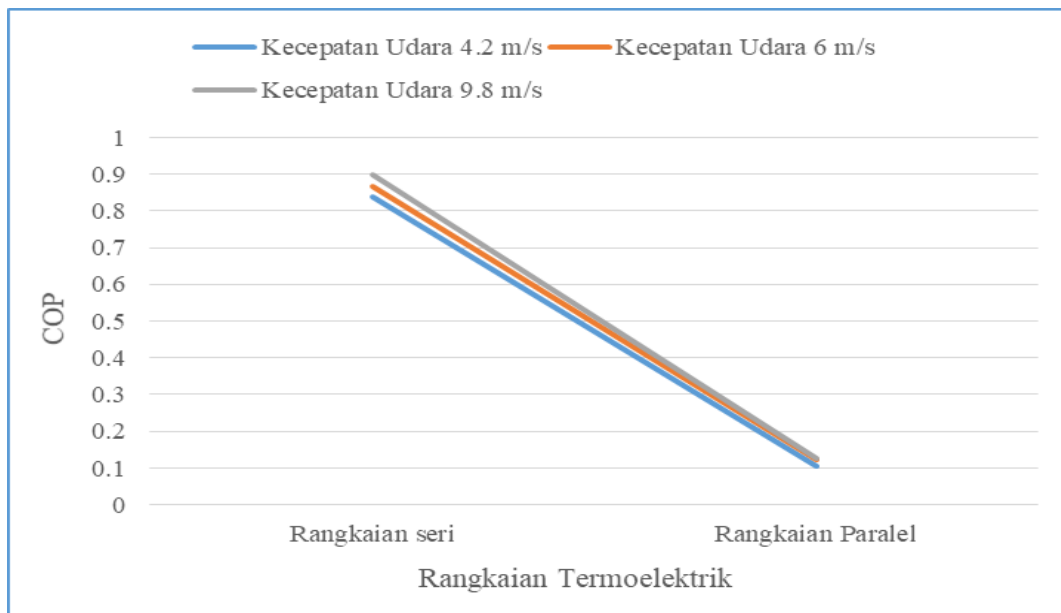
Berbeda dengan daya serap kalor ( $Q_c$ ), kalor yang dilepaskan ( $Q_h$ ) mengalami perubahan seiring dengan perubahan rangkaian termoelektrik dan kecepatan udaranya, seperti yang tampak pada **Gambar 12** dimana kalor yang dilepaskan ( $Q_h$ ) tertinggi dicapai pada rangkaian paralel pada kecepatan udara 4,2 m/s. semakin besar nilai arus yang disuplai maka perbedaan temperatur kedua sisi *thermoelektrik* semakin meningkat. Pada konfigurasi ini temperatur ruang kotak pendingin yang dihasilkan cukup tinggi 23,4 °C. Hal ini disebabkan oleh sisi panas pada *thermoelektrik* yang merupakan sisi yang melepas kalor tidak dapat melepas kalor dengan cepat mengakibatkan sisi dingin *thermoelektrik* mengalami peningkatan. Rata-rata temperatur sisi panas 49,5 °C. dan rata-rata kalor yang dilepaskan sebesar 267,76 W. untuk mempercepat pelepasan kalor dapat dilakukan dengan menambah kecepatan udara unit pembuang panasnya.



**Gambar 13:** Pengaruh rangkaian thermoelectric terhadap daya input

Hubungan antara daya input dengan rangkaian *thermoelektrik* diperlihatkan **Gambar 13**. Rangkaian *thermoelektrik* memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap daya input ( $P_{in}$ ). Daya input paling tinggi ditunjukkan rangkaian paralel kecepatan udara 4,2 m/s sebesar 241,96 W. Hal ini disebabkan daya input berbanding lurus dengan arus ditimbulkan. Arus yang

ditimbulkan rangkaian paralel lebih besar dimana masing-masing modul *thermoelektric* mendapatkan arus langsung dari sumber berbeda dengan rangkaian seri dimana hanya ada satu jalan yang dilalui, arus yang mengalir secara berurutan. Dengan demikian salah satu cara untuk mengurangi kebutuhan arus pada *thermoelektric* adalah dengan menggunakan elemen peltier dengan perakitan kelistrikan seri. Perakitan kelistrikan secara paralel elemen peltier agar diperoleh perbedaan suhu yang tinggi antara kedua sisi elemen peltier, sehingga kalor yang dilepaskan semakin besar. Penyusunan kelistrikan secara seri agar diperoleh jumlah arus listrik yang melalui elemen peltier lebih optimal [16].



**Gambar 14:** Pengaruh rangkaian thermoelektric terhadap *Coefficient of Performance*

Coefficient of performance (COP) sistem ditunjukkan pada **Gambar 14** dimana rangkaian seri memiliki COP yang lebih tinggi dibandingkan dengan rangkaian paralel. Rangkaian seri dengan kecepatan udara 9,8 m/s nilai COP mencapai 0,89 sedangkan pada rangkaian paralel dengan kecepatan udara 9,8 m/s nilai COP mencapai 0,12. Pada kedua konfigurasi rangkaian memiliki tren yang sama, dimana COP akan meningkat seiring dengan penambahan kecepatan udara pembuang kalor. Hal ini disebabkan pada rangkaian seri arus listrik yang digunakan lebih optimal sehingga daya input yang diberikan sebanding dengan daya serap kalornya sehingga kinerjanya lebih tinggi. Pada rangkaian paralel arus listrik yang ditimbulkan sangat besar sehingga daya serap kalornya sangat tinggi tetapi tidak sebanding dengan daya input yang juga sangat besar sehingga kinerja modul *thermoelektric* lebih rendah. Penurunan COP merupakan dampak dari perubahan efek thomson yang diikuti oleh penurunan efek fourier dan joule heating pada sisi dingin TEC. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun peningkatan laju aliran pendingin akan meningkatkan efek pelepasan kalor ruangan kotak pendingin, namun disisi lain akan berdampak pada peningkatan daya input sistem.

#### 4 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa rangkaian *thermoelektric* dan kecepatan udara *wind tunnel* sangat mempengaruhi kinerja dari kotak pendingin. Kinerja yang lebih tinggi diperoleh pada kotak pendingin yang secara listrik koneksitas *thermoelektric* dirangkai seri dengan kecepatan udara *wind tunnel* 9,8 m/s dimana daya serap kalor ( $Q_c$ ) yang dihasilkan 34,265 W, beda temperatur ( $\Delta T$ ) mencapai 18,5 °C dan daya input ( $P_{in}$ ) sebesar 38,14 W sehingga COP menjadi 0,89. Sedangkan pada rangkaian paralel dengan kecepatan udara 9,8 m/s dimana daya serap kalor 24,442 W, beda temperatur ( $\Delta T$ ) mencapai 33,4 °C dan daya input ( $P_{in}$ ) sebesar 193,08 W sehingga COP menjadi 0,12. Dengan menggunakan rangkaian seri *thermoelektric* pada kotak pendingin dapat meningkatkan kinerja *thermoelektric* dibandingkan dengan rangkaian paralel.

## 5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. D, G. M, D. SCHOLLMMEYER, S. . HELLMANN, R and WALDVOGEL, “Methyl-Substituted a-Cyclodextrin asAffinity Material for Storage, Separation, and Detection of Trichlorofluoromethane,” *Glob. Challenges*, vol. 2, No 8., p. 1800057, 2018.
- [2] S. SM, K. GNANASEKARAN, and S. J. SAMUEL, “Performance study on thermoelectric cooling and heating system with cascaded and integrated approach”, *Int. J. Chem. Stud*, vol. 6, no. 1, pp. 1348–1354, 2018.
- [3] A. K. CHOUDHARY and N. KUMAR, “International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology Security”, *Int. J. Eng. Sci. Res. Technol.*, vol. 6, no. 9, p. 5, 2017.
- [4] A. K. MAINIL, A. AZIZ, and M. AKMAL, “Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load,” *Aceh Int. J. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 85–92, 2018.
- [5] M. MIRMANTO, S. SYAHRUL, and Y. WIRDAN, “Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 22, no. 1, pp. 177–184, 2019.
- [6] M. MIRMANTO, I. BAGUS ALIT, and Y. ANGGANI, “Unjuk kerja kotak pendingin peltier dengan unit pembuang panas heat sink fin-fan dan single fan heat pipe”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol.1, n. 2, pp. 1–8, 2019.
- [7] A. AZIZ, J. SUBROTO, and V. SILPANA, “Aplikasi modul pendingin thermoelektrik sebagai media pendingin kotak minuman” *Technology*, vol. 10 no. 1, pp. 1-7, 2017.
- [8] K. ANWAR and M. B. ANGGARA, “Pengaruh laju aliran fluida liquid-cooled heat sink terhadap unjuk kerja sistim pendingin thermoelektrik”, vol. 8 no. 2, pp. 759-767, 2017.
- [9] M. YUSFI, F. GANDI, and H. S. PALKA, “Analisis Pemamfaatan Dua Elemen Peltier Pada Pengontrolan Temperatur Air,” *Spektra- J. Fis. dan Apl.*, vol. 2, no. April, pp. 9–14, 2017.
- [10] T. N. WIDIANTO and A. R. HAKIM, “Performansi Pendingin Thermoelektrik Alat Transportasi Ikan Segar pada Berbagai Tegangan (Thermoelectric Performance of Refrigerated Fish Container at Various Voltages),” *Agritech*, vol. 36, no. 4, pp. 485, 2017.
- [11] T. NUGROHO and C. MAHENDRA, “Performance of Arrangement and Number the Peltier Elements on Refrigerated Fish Container TEC”, *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, Vol. 14, no. 1, pp. 75–84, 2019.
- [12] M. AKMAL and A. AZIZ, “Pengaruh jumlah Cascade daninput daya terhadap temperatur thermoelectric cooling box portable,” *Jom FTEKNIK*, vol. 1, no. 2, pp. 1–4, 2014.
- [13] B. K. RAKESH, A. SHAYAN, M. S. M. N, M. MOHAN, and V. KARTHIK, “Study Analysis and Fabrication of Thermoelectric Cooling System”, *International Journal of Scientific development and Research*, vol. 1, no. 5, pp. 332–338, 2016.
- [14] J. DELLY, M. HASBI, and I. FITRA ALKHOIRON, “Studi Penggunaan Modul Thermoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Portable,” *ENTHALPY – J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 50–55, 2016.
- [15] L. NULHAKIM, “Uji Unjuk Kerja Pendingin Ruangan Berbasis Thermoelectric Cooling,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 85–90, 2017.
- [16] H. ANANTA, Y. A. PADANG, and M. MIRMANTO, “Unjuk kerja kulkas thermoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel pada beban air 1500 ml,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 80–86, 2017.