

## ANALISA VARIASI *HEATSINK PROCESSOR* TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN *PORTABLE THERMOELECTRIC*

**Rizki Faizal**

Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Widyagama Malang  
Email: [rizkifaisal98@gmail.com](mailto:rizkifaisal98@gmail.com)

**Muhammad Agus Sahbana**

Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Widyagama Malang

**Nova Risdiyanto Ismail**

Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Widyagama Malang

### ABSTRAK

Pemanfaatan elemen termoelektrik lebih banyak disukai untuk digunakan sebagai sumber dingin pada mesin *portable mini refrigerator* karena instalasinya yang mudah dan tidak menggunakan cairan fluida yang bergerak atau bersirkulasi. Penggunaan elemen termoelektrik sebagai sumber dingin telah banyak dipelajari untuk mencapai efisiensi terbaik. Performa pendinginan yang maksimal dapat dihasilkan tergantung pada kinerja *heatsink* yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil temperatur terminal dingin, COP dan efisiensi sistem pendingin *portable* termoelektrik menggunakan variasi *heatsink processor* tipe PGA 478, LGA 775 dan *heatsink tower* dengan variasi kecepatan udara 1,5 m/s; 2,0 m/s dan 3,0 m/s. Pengujian ini dilakukan menggunakan kotak pendingin berkapasitas 5,5 liter dengan dimensi 280 mm x 180 mm x 200 mm dan tebal 15 mm menggunakan sumber dingin dua modul termoelektrik. Hasil rata-rata pengujian menunjukkan bahwa, sistem pendinginan terbaik dihasilkan pada kecepatan fluida 3,0 m/s menggunakan *heatsink tower* dengan temperatur terminal dingin mencapai 0,65 °C dan nilai COP 1,194 serta efisiensi 5,21 %. Dan pada *heatsink* PGA 478, menghasilkan temperatur terminal dingin 6,15 °C dan nilai COP 1,289 serta efisiensi 4,14 %. Sedangkan pada *heatsink* LGA 775, menghasilkan temperatur terminal dingin 20,10 °C dan nilai COP 1,138 serta efisiensi 0,84 %.

**Kata kunci:** *heatsink processor*, modul termoelektrik, kotak pendingin

### ABSTRACT

*The use of thermoelectric elements is preferred for use as a cold source in portable mini refrigerator machines because of their easy installation and does not use moving or circulating fluids. The use of thermoelectric elements as cold sources has been studied extensively in order to achieve the best efficiency. The maximum cooling performance that can be generated depends on good heatsink performance. This study aims to determine the results of cold terminal temperature, COP and efficiency of portable thermoelectric cooling systems using variations of the PGA 478 processor heatsink, LGA 775 and tower heatsinks with air velocity variations of 1.5 m / s; 2.0 m / s and 3.0 m / s. This test is carried out using a cooler with a capacity of 5.5 liters with dimensions of 280 mm x 180 mm x 200 mm and a thickness of 15 mm using a cold source with two thermoelectric modules. The average test results show that the best cooling system is produced at a fluid velocity of 3.0 m / s using a heatsink tower with a cold terminal temperature of 0.65 oC and a COP value of 1.194 and an efficiency of 5.21%. And on the PGA 478 heatsink, it produces a cool terminal temperature of 6.15 oC and a COP value of 1.289 and an efficiency of 4.14%. Meanwhile, the LGA 775 heatsink produces a cold terminal temperature of 20.10 oC and a COP value of 1.138 and an efficiency of 0.84%.*

**Keywords:** *processor heatsink, thermoelectric module, cooler box*

## 1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya teknologi, sistem pendingin mempunyai peran penting dalam kehidupan sehari-hari. Hampir setiap orang memiliki peralatan rumah tangga yang menggunakan sistem pendingin seperti kulkas, AC (*Air Conditioner*), *freezer*, dispenser, dan lain sebagainya.

Mesin pendingin *refrigerator* terdapat dalam berbagai ukuran mulai dari besar, sedang dan kecil (*refrigerator mini*). Namun dari ketiga ukuran tersebut, *refrigerator mini tipe portable* sangat sulit ditemukan di pasaran. Salah satu faktor yang menjadi kendalanya yaitu komponen-komponen penyusun dalam pembuatan

*portable mini refrigerator* yang membutuhkan ketelitian dan teknologi yang tinggi. Sehingga nantinya akan berdampak pada harga jual produk yang tinggi di pasaran. Berdasarkan masalah tersebut, sistem pendingin refrigerator menggunakan kompresi uap tidak diminati lagi dalam pembuatan *refrigerator mini tipe portable* sehingga beralih pada pemanfaatan elemen termoelektrik sebagai sumber dingin.

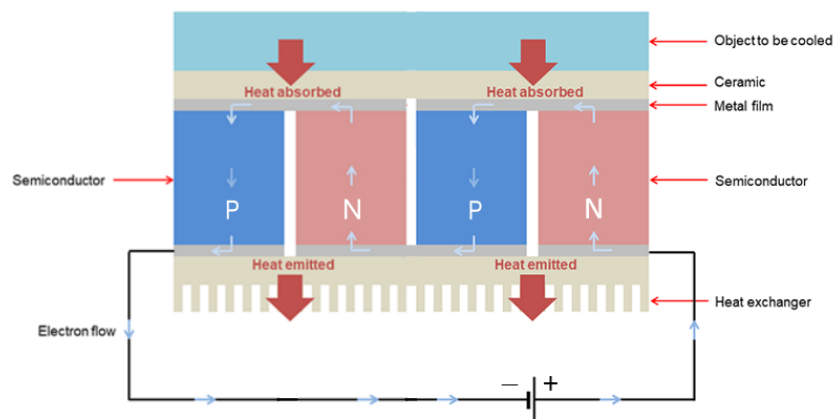
*Portable mini refrigerator* dapat dimanfaatkan untuk menyimpan makanan atau minuman dalam skala kecil [1][2]. Sedangkan dalam bidang kesehatan, dapat dimanfaatkan untuk menjaga temperatur suatu vaksin agar tetap rendah saat proses pendistribusian ke daerah-daerah pedalaman [3]. Kemudian dalam bidang pertanian, *portable mini refrigerator* juga dapat dimanfaatkan sebagai inkubator perkembangbiakan miselia pada tanaman jamur tiram yang membutuhkan temperatur 18 °C, 20 °C, 22 °C dan 24 °C [4].

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan dua modul termoelektrik tipe TEC1-12706 dan variasi *heatsink processor* tipe PGA 478, *heatsink LGA 775* dan *heatsink tower* dengan variasi kecepatan udara yang diberikan adalah 1,5 m/s 2,0 m/s dan 3,0 m/s. Variasi kecepatan udara pada *heatsink* diatur menggunakan potensio dan alat ukur anemometer. Pengujian masing-masing variasi dilakukan selama waktu pendinginan 60 menit dengan interval 5 menit.

### 2.1 Pendingin Termoelektrik

Pendingin termoelektrik memiliki dua sisi yang berbeda yakni terminal panas (*hot side*) dan terminal dingin (*cold side*). Temperatur pada sisi terminal dingin termoelektrik dipengaruhi oleh banyaknya kalor yang dapat dilepas pada sisi terminal panas termoelektrik. Semakin banyak kalor yang dapat dilepas, maka temperatur pada terminal dingin akan semakin turun, begitu pula sebaliknya.

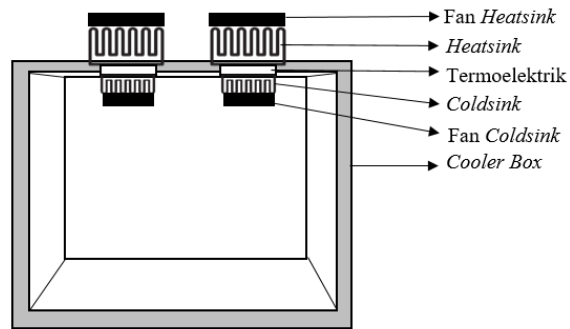


Gambar 1. Skema aliran elektron pendingin termoelektrik [5]

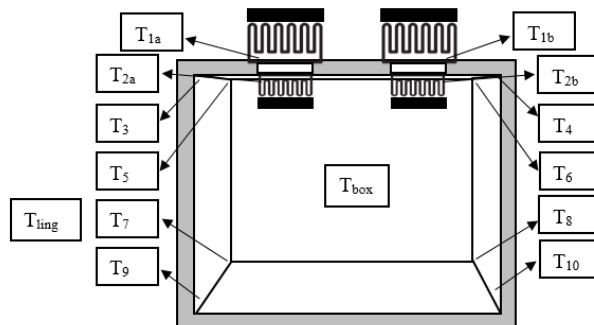
Pada saat semikonduktor tipe-p dan tipe-n terhubung ke arus listrik DC, maka elektron akan berkumpul menuju bagian yang terhubung dengan elektroda positif, sehingga terjadi penumpukan muatan [6]. Untuk mencapai kondisi kesetimbangan, muatan-muatan tersebut mengalir dari semikonduktor tipe-n (kelebihan elektron) menuju tipe-p (kekurangan elektron) sehingga mengakibatkan penyerapan panas yang ada di dalam kotak pendingin melalui terminal dingin (*heat absorbed*) kemudian dibuang pada terminal panas (*heat emitted*).

### 2.2 Bahan Penelitian Pendingin Termoelektrik

Skema rangkaian sistem pendingin termoelektrik ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Skema rangkaian sistem pendingin termoelektrik.



Gambar 3. Titik pengukuran temperatur

Berikut keterangan titik pengukuran temperatur pada gambar 3.

- T<sub>1a</sub> : Temperatur *heatsink* kiri
- T<sub>1b</sub> : Temperatur *heatsink* kanan
- T<sub>2a</sub> : Temperatur *coldsink* kiri
- T<sub>2b</sub> : Temperatur *coldsink* kanan
- T<sub>3</sub> : Temperatur dinding kiri depan atas
- T<sub>4</sub> : Temperatur dinding kiri belakang atas
- T<sub>5</sub> : Temperatur dinding kanan belakang atas
- T<sub>6</sub> : Temperatur dinding kanan depan atas
- T<sub>7</sub> : Temperatur dinding depan bawah kiri
- T<sub>8</sub> : Temperatur dinding belakang bawah kiri
- T<sub>9</sub> : Temperatur dinding belakang bawah kanan
- T<sub>10</sub> : Temperatur dinding depan bawah kanan
- T<sub>ling</sub> : Temperatur udara lingkungan
- T<sub>box</sub> : Temperatur udara dalam kotak pendingin



Gambar 1. Termoelektrik TEC1-12706

**Tabel 1. Spesifikasi Termoelektrik TEC1-12706**

<b>Ukuran</b>	(40 x 40 x 3,7) [mm]
<b><math>\Delta T_{max}</math></b>	66 [°C]
<b>Q max</b>	53 [W]
<b>n couple</b>	127 pasang
<b>R</b>	1,98 [ $\Omega$ ]
<b>I max</b>	6,4 [A]
<b>V max</b>	14,9 [V]



**Gambar 4. Heatsink Processor PGA 478**

**Tabel 2. Spesifikasi Heatsink Processor PGA 478**

<b>Merk</b>	Intel
<b>Berat Heatsink</b>	316 g
<b>Dimensi Heatsink</b>	83 mm (p) x 68 mm (l) x 42 mm (t)
<b>Luas Permukaan Dasar Heatsink</b>	3.652 mm <sup>2</sup>
<b>Jumlah Sirip</b>	19
<b>Tebal Sirip</b>	1,2 mm
<b>Luas Permukaan Sirip</b>	5.312 mm <sup>2</sup>
<b>Diameter Fan</b>	65 mm
<b>Tegangan Fan</b>	12 V
<b>Arus Fan</b>	0,24 A



**Gambar 5. Heatsink Processor LGA 775**

**Tabel 3. Spesifikasi Heatsink Processor LGA 775**

<b>Merk</b>	Intel
<b>Berat Heatsink</b>	261 g
<b>Diameter Heatsink</b>	90 mm
<b>Tinggi Heatsink</b>	39 mm
<b>Luas Permukaan Dasar Heatsink</b>	646,3 mm <sup>2</sup>
<b>Jumlah Sirip</b>	104

<b>Tebal Sirip</b>	0,5 mm
<b>Luas Permukaan Sirip</b>	2.624 mm <sup>2</sup>
<b>Diameter Fan</b>	75 mm
<b>Tegangan Fan</b>	12 V
<b>Arus Fan</b>	0,60 A



Gambar 6. *Heatsink Tower*

Tabel 4. Spesifikasi *Heatsink Tower*

<b>Merk</b>	Deep Cool Ice Age Mini FS v2.0
<b>Berat <i>Heatsink</i></b>	175 g
<b>Dimensi <i>Heatsink</i></b>	85 mm (p) x 38 mm (l) x 112 mm (t)
<b>Luas Permukaan Dasar <i>Heatsink</i></b>	1.225 mm <sup>2</sup>
<b>Jumlah Sirip</b>	33
<b>Tebal Sirip</b>	0,2 mm
<b>Luas Permukaan Sirip</b>	6.460 mm <sup>2</sup>
<b>Diameter <i>Heatpipe</i></b>	6 mm x 2 pcs
<b>Diameter Fan</b>	72 mm
<b>Tegangan Fan</b>	12 V
<b>Arus Fan</b>	0,12 A



Gambar 7. Proses pengambilan data

Penelitian ini menggunakan dua buah modul termoelektrik menggunakan variasi tipe *heatsink processor* PGA 478, *heatsink* LGA 775, dan *heatsink tower* dengan variasi kecepatan udara yang mengalir. Variasi tipe *heatsink* dilakukan dengan menempatkan *heatsink processor* di terminal panas modul termoelektrik selama waktu

pendinginan 60 menit dengan interval pengambilan data 5 menit. Untuk variasi kecepatan fluida yang diberikan adalah 1,5 m/s; 2,0 m/s dan 3,0 m/s.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil

Berikut hasil rata-rata temperatur data yang diperoleh dari penelitian ini selama 60 menit:

**Tabel 5. Data hasil rata – rata titik pengukuran pada kecepatan fluida 1,5 m/s**

Nilai Rata-Rata	<i>Heatsink</i>		
	PGA 478	LGA 775	Tower
Temperatur <i>Heatsink</i> (Th), °C	51,39	40,74	40,53
Temperatur <i>Coldsink</i> (Tc), °C	14,33	22,90	3,97
Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ), °C	37,06	17,84	36,56
Temperatur Dinding (T3-T10), °C	27,80	29,60	22,63
Temperatur Udara Pendingin (T.box), °C	26,28	29,25	21,10
Temperatur Lingkungan (T.ling), °C	29,08	28,04	25,51
Arus Listrik (I), A	6,87	6,50	7,29
Tegangan (V), V	11,72	11,78	11,60

**Tabel 6. Data hasil rata – rata titik pengukuran pada kecepatan fluida 2,0 m/s**

Nilai Rata-Rata	<i>Heatsink</i>		
	PGA 478	LGA 775	Tower
Temperatur <i>Heatsink</i> (Th), °C	45,98	39,09	38,28
Temperatur <i>Coldsink</i> (Tc), °C	10,17	22,08	1,43
Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ), °C	35,81	17,00	36,85
Temperatur Dinding (T3-T10), °C	24,72	30,11	21,31
Temperatur Udara Pendingin (T.box), °C	22,66	29,48	19,31
Temperatur Lingkungan (T.ling), °C	28,56	28,71	26,18
Arus Listrik (I), A	6,95	6,54	7,43
Tegangan (V), V	11,63	11,8	11,59

**Tabel 7. Data hasil rata-rata titik pengukuran pada kecepatan fluida 3,0 m/s**

Nilai Rata-Rata	<i>Heatsink</i>		
	PGA 478	LGA 775	Tower
Temperatur <i>Heatsink</i> (Th), °C	41,36	35,65	36,41
Temperatur <i>Coldsink</i> (Tc), °C	6,15	20,10	0,65
Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ), °C	35,21	15,55	35,76
Temperatur Dinding (T3-T10), °C	21,83	29,56	21,12
Temperatur Udara Pendingin (T.box), °C	19,39	28,58	18,69
Temperatur Lingkungan (T.ling), °C	27,82	28,98	27,08
Arus Listrik (I), A	7,14	6,67	7,55
Tegangan (V), V	11,61	11,80	11,53

### 3.2 Pembahasan

*Figur of Merit (Z)* merupakan parameter gabungan dari tiga jenis sifat pada termoelektrik yaitu nilai konduktivitas listrik yang tinggi agar dapat meminimalkan *joule heating* saat termoelektrik dioperasikan, koefisien *seebeck* yang besar untuk perubahan maksimal dari panas ke daya listrik atau daya listrik ke kinerja dingin, dan konduktivitas panas yang rendah untuk mencegah konduksi panas melalui bahan. Nilai Z dapat diketahui dengan beberapa persamaan sebagai berikut:

*Figur of merit (Z)* [7]

$$Z = \frac{\Delta T_{max}}{0,5 T_c} \quad (1)$$

Keterangan Rumus :

Z = *Figur of merit (Z)*  
T<sub>c</sub> = Temperatur terminal dingin (°K)  
ΔT<sub>max</sub> = Perbedaan temperatur maksimal (°K)

Konduktivitas termal (W/mK) [7]

$$U = \frac{Q^{\circ max}}{0,5 Z T_{c2} - (T_h - T_c)} \quad (2)$$

Keterangan Rumus :

Q<sup>o</sup> max = Kapasitas pendinginan maksimum elemen termoelektrik (Watt)  
Z = *Figure of merit (Z)*  
T<sub>c</sub> = Temperatur terminal dingin (°K).  
T<sub>h</sub> = Temperatur terminal panas (°K)  
U = Konduktivitas termal termoelektrik (W/K)

Koefisien *seebeck* (V/K) [7]

$$(\alpha_{pn}) = \sqrt{\frac{z x U x R}{n^2}} \quad (3)$$

Keterangan Rumus :

α<sub>pn</sub> = Koefisien *seebeck* bahan (V/K)  
n = Jumlah pasang kaki semi konduktor (127 pasang)  
R = Hambatan alat (Ω)

COP (*Coeffisient of Performance*) merupakan suatu nilai unjuk kerja dari sebuah termoelektrik. Nilai ini dapat menunjukkan kualitas bahan semikonduktor dari modul termoelektrik. Hasil nilai COP yang tinggi dapat menunjukkan bahwa kualitas dari pendinginan yang baik. Hasil perhitungan COP dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Kalor pada terminal dingin (W) [8]

$$Q_c = n \alpha_{pn} T_c I - \frac{\Delta T}{U} - \frac{1}{2} I^2 R \quad (4)$$

Daya (W) [9]

$$W = n \alpha_{pn} \Delta T I + I^2 R \quad (5)$$

*Coeffisient Of Performance* (COP) [10]

$$COP = \frac{Q_c}{W} \quad (6)$$

Keterangan Rumus:

Q<sub>c</sub> = Kalor terminal dingin (Watt)  
W = Daya termoelektrik (Watt)

Efisiensi pendinginan sistem merupakan hasil bagi antara jumlah kalor yang bekerja seluruhnya terhadap kalor yang masuk pada sistem pendingin berupa daya listrik. Efisiensi ini dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu beban pendinginan *coldsink*, beban pendinginan udara, dan faktor bentuk konduksi.

Nilai beban pendinginan udara dan *coldsink* dapat menggunakan dan persamaan berikut [11]:

$$Q = m c \Delta T \quad (7)$$

Keterangan Rumus:

$Q$  = Kalor yang dipindahkan (Watt)

$m$  = Massa (kg)

$c$  = Kalor jenis (Joule/kg°C)

$\Delta T$  = Perubahan temperatur (°C)

Daya listrik merupakan jumlah energi listrik yang mengalir dalam setiap satuan waktu (detik). Daya listrik dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut [12]:

$$P = V I \quad (8)$$

Keterangan Rumus:

$P$  = Daya listrik (Watt)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus listrik (Ampere)

Faktor bentuk konduksi merupakan nilai yang digunakan untuk menghitung perpindahan kalor konduksi yang terjadi pada media dengan bentuk geometri tertentu. Pada sistem tiga dimensi, mempunyai faktor bentuk yang berbeda-beda untuk menghitung aliran kalor di bagian-bagian tepi dan sudut. Jika semua dimensi dalam lebih besar dari seperlima tebal dinding maka didapat persamaan sebagai berikut [11].

$$S_{dinding} = \frac{A}{d} \quad (9)$$

$$S_{tepi} = 0,54 (p + l + t) \quad (10)$$

$$S_{sudut} = 0,15 d \quad (11)$$

$$q_d = k S_{total} (\Delta T) \quad (12)$$

Keterangan Rumus:

$qd$  = Laju perpindahan panas konduksi (Watt)

$A$  = Luas dinding (meter<sup>2</sup>)

$d$  = Tebal dinding (meter)

$k$  = Konduktivitas *polyurethane* (0.02 W/mK)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur dinding (°K)

$p$  = Panjang kotak pendingin (meter)

$l$  = Lebar kotak pendingin (meter)

$t$  = Tinggi kotak pendingin (meter)

Untuk mencari nilai efisiensi yang dihasilkan dari suatu sistem pendinginan dapat dihitung dengan persamaan berikut [13].

$$\eta = \frac{Q_{total}}{P} \times 100\% \quad (13)$$

Keterangan Rumus:

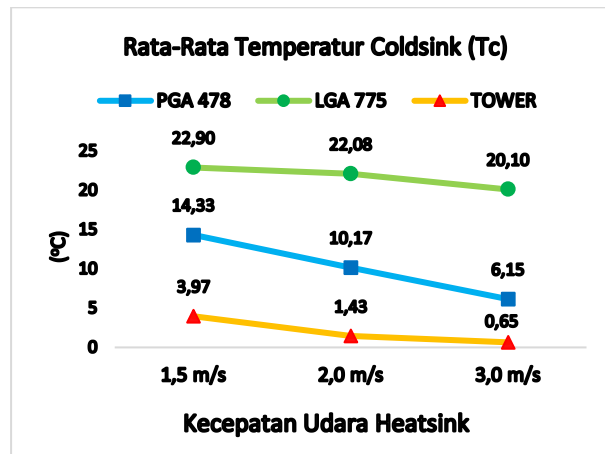
$\eta$  = Efisiensi pendinginan (%)

$Q_{total}$  = Jumlah kalor total (Watt)

$P$  = Daya listrik (Watt)

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat dibuat grafik rata-rata temperatur dingin ( $T_c$ ) sebagai berikut:





Gambar 7. Grafik rata-rata temperatur coldsink (Tc)

Berdasarkan grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa temperatur coldsink mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan udara pada heatsink. Hal ini terjadi karena semakin tinggi kecepatan udara heatsink, maka semakin rendah temperatur pada terminal panas termoelektrik [14].

Hasil rata-rata pengujian temperatur coldsink (Tc) terendah dihasilkan oleh heatsink tower yaitu 0,65 °C pada kecepatan udara heatsink 3,0 m/s. Hal ini disebabkan karena heatsink tower memiliki dua pipa tembaga yang mampu menyerap kalor dengan baik pada terminal panas termoelektrik [15]. Heatsink tower juga memiliki ketebalan sirip yang tipis yaitu 0,2 mm sebanyak 33 sirip dengan luas 6.460 mm<sup>2</sup> sehingga kemampuan melepas kalor pada sirip-sirip heatsink juga lebih baik.

Pada heatsinks PGA 478 yang memiliki ketebalan sirip 1,2 mm sebanyak 19 sirip dengan luasan 5.312 mm<sup>2</sup> menghasilkan temperatur coldsink hingga 6,15 °C. Sedangkan pada heatsink LGA 775 yang memiliki jumlah sirip paling banyak yaitu 52 sirip hanya mencapai 20, 10 °C, hal ini terjadi karena permukaan dasar heatsink LGA 775 tidak dapat menjangkau semua permukaan pada terminal panas termoelektrik sehingga berdampak pada temperatur terminal dinginnya.

Contoh perhitungan nilai COP menggunakan heatsink PGA 478 pada kecepatan fluida 1,5 m/s menit ke-5:

Diketahui:

$$\begin{aligned} n &= 127 \times 2 \text{ modul} = 254 \\ Q_{\max} &= 53 \times 2 \text{ modul} = 106 \text{ W} \\ \Delta T_{\max} &= 66 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ R &= 1,98 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

Temperatur Heatsink (°K)

$$\begin{aligned} T_h &= (T_{1a} + T_{1b}) / 2 \\ &= (49,70 + 49,50) / 2 \\ &= 49,60 \text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15 \\ &= 322,75 \text{ }^{\circ}\text{K} \end{aligned}$$

Temperatur Coldsink (°K)

$$\begin{aligned} T_c &= (T_{2a} + T_{2b}) / 2 \\ &= (18,5 + 10,80) / 2 \\ &= 14,65 \text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15 \\ &= 287,80 \text{ }^{\circ}\text{K} \end{aligned}$$

Perbedaan Temperatur (°K)

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_h - T_c \\ &= 322,75 - 287,80 \\ &= 34,95 \text{ }^{\circ}\text{K} \end{aligned}$$

Figur of Merit (/K)

$$\begin{aligned} Z &= \Delta T_{\max} / (0,5 T_c^2) \\ &= 66 / (0,5 \times 287,80^2) \\ &= 66 / 41.414,42 \\ &= 0,0015936 \text{ /K} \end{aligned}$$

Konduktivitas Termal Termoelektrik (W/K)

$$U = Q_{\max} / (0,5 Z T_c^2 - \Delta T)$$

$$\begin{aligned}
 &= 106 / (0,5 \times 0,0015936 \times 287,80^2 - 34,95) \\
 &= 106 / (65,998019 - 34,95) \\
 &= 106 / 31,048019 \\
 &= 3,413849 \text{ W/K}
 \end{aligned}$$

Koefisien *Seebeck* (V/K)

$$\begin{aligned}
 (\alpha_{pn}) &= \sqrt{\frac{z \times U \times R}{n^2}} = \sqrt{\frac{0,0015936 \times 3,413849 \times 1,98}{254^2}} \\
 &= \sqrt{\frac{0,01077214}{254^2}} \\
 &= 0,00040862 \text{ V/K}
 \end{aligned}$$

Kalor Terminal Dingin (W)

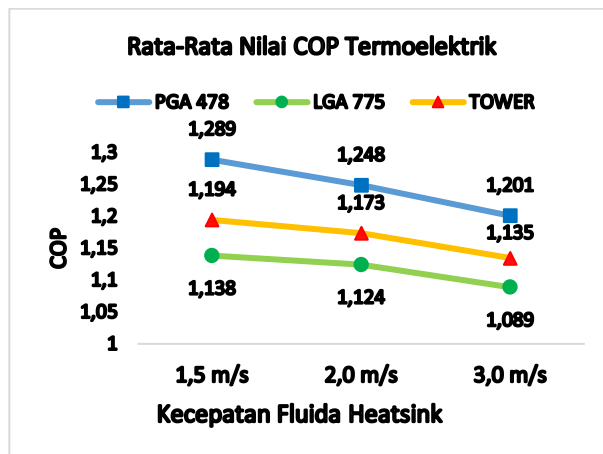
$$\begin{aligned}
 Q_c &= n \alpha_{pn} T_c I - \Delta T / U - 0,5 I^2 R \\
 &= (254 \times 0,00040862 \times 287,80 \times 6,94) - (34,95 / 3,413849) - (0,5 \times 6,94^2 \times 1,98) \\
 &= 207,3009 - 10,237 - 47,682 \\
 &= 149,3812 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Daya Termoelektrik (W)

$$\begin{aligned}
 W &= n \alpha_{pn} \Delta T I + I^2 R \\
 &= (254 \times 0,00040862 \times 34,95) + (6,94^2 \times 1,98) \\
 &= 25,1743 + 95,3639 \\
 &= 120,5382 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Nilai COP Termoelektrik

$$COP = \frac{Q_c}{W} = \frac{149,3812}{120,5382} = 1,23928$$



Gambar 8. Grafik rata-rata nilai COP Termoelektrik

Nilai COP merupakan nilai unjuk kerja yang dihasilkan oleh modul termoelektrik. Nilai COP dipengaruhi oleh nilai kalor terminal dingin ( $Q_c$ ) dan daya listrik yang terjadi pada modul termoelektrik. Semakin tinggi nilai kalor terminal dingin ( $Q_c$ ), maka semakin tinggi nilai COP. Sedangkan semakin tinggi daya listrik yang berbanding lurus dengan arus listrik dan kecepatan fluida, maka semakin rendah nilai COP yang dihasilkan. Berdasarkan grafik rata-rata nilai COP di atas, pada *heatsink* PGA 478 menghasilkan nilai rata-rata COP tertinggi sebesar 1,289 pada kecepatan fluida 1,5 m/s. Sedangkan pada *heatsink* tower, menghasilkan nilai rata-rata COP tertinggi sebesar 1,194 pada kecepatan fluida 1,5 m/s. Dan pada *heatsink* LGA 775, menghasilkan nilai rata-rata COP tertinggi sebesar 1,138 pada kecepatan fluida 1,5 m/s.

Berikut contoh perhitungan efisiensi sistem menggunakan *heatsink* PGA 478 pada kecepatan fluida 1,5 m/s:

1. Faktor Bentuk Konduksi ( $Q_{\text{dinding}}$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Kotak (p)} &= 280 \text{ mm (0,28 m)} \\
 \text{Lebar Kotak (l)} &= 180 \text{ mm (0,18 m)} \\
 \text{Tinggi Kotak (t)} &= 200 \text{ mm (0,20 m)} \\
 \text{Tebal Kotak (d)} &= 15 \text{ mm (0,015 m)} \\
 \text{Konduktivitas (k)} &= 0,02 \text{ W/mK} \\
 \text{n sudut} &= 12 \\
 \text{Luas (A)} &= (2.p.l) + (2.p.t) + (2.l.t) \\
 &= (2 \times 0,28 \times 0,18) + (2 \times 0,28 \times 0,20) + (2 \times 0,18 \times 0,20) \\
 &= 0,1008 + 0,072 + 0,112 \\
 &= 0,2848 \text{ m}^2 \\
 S_{\text{dinding}} &= A: d \\
 &= 0,2848: 0,015 \\
 &= 18,99 \text{ m} \\
 S_{\text{tepi}} &= 4 (0,54.p + 0,54.l + 0,54.t) \\
 &= 4 (0,54 \times 0,28) + (0,54 \times 0,18) + (0,54 \times 0,20) \\
 &= 4 (0,1512 + 0,0972 + 0,108) \\
 &= 4 \times 0,3564 \\
 &= 1,4256 \text{ m} \\
 S_{\text{sudut}} &= n (0,15 d) \\
 &= 12 (0,15 \times 0,015) \\
 &= 12 \times 0,00225 \\
 &= 0,027 \text{ m} \\
 S_{\text{total}} &= S_{\text{dinding}} + S_{\text{tepi}} + S_{\text{sudut}} \\
 &= 18,99 + 1,4256 + 0,027 \\
 &= 20,44 \text{ m} \\
 Q_{\text{dinding}} &= k.S \text{ total.}(T_{\text{dinding.60}} - T_{\text{dinding.0}}) \\
 &= 0,02 \times 20,44 \times (31,24 - 26,66) \\
 &= 0,4088 \times 4,58 \\
 &= 1,87 \text{ W}
 \end{aligned}$$

2. Beban *Coldsink* ( $Q_{\text{coldsink}}$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Coldsink (m)} &= 70 \text{ gram (0,07 Kg)} \\
 \text{Kalor Jenis Aluminium (c)} &= 900 \text{ J/Kg K} \\
 \text{Waktu pengujian (t)} &= 3600 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan beban kalor *coldsink* menggunakan *heatsink* PGA 478 pada kecepatan fluida 1,5 m/s:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{coldsink}} &= m c (T_{\text{c.0}} - T_{\text{c.60}}) / t \\
 &= 0,07 \times 900 \times (28,00 - 13,45) / 3600 \\
 &= 63 \times 14,55 / 3600 \\
 &= 0,255 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3. Beban Kalor Udara ( $Q_{\text{udara}}$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Udara (v)} &= 5,5 \text{ L (0,0055 m}^3\text{)} \\
 \text{Massa Jenis Udara (p)} &= 1,2 \text{ Kg/m}^3 \\
 \text{Massa Udara (m)} &= 0,0055 \times 1,2 = 0,0066 \text{ Kg} \\
 \text{Kalor Jenis Udara (c)} &= 1000 \text{ J/Kg K} \\
 \text{Waktu pengujian (t)} &= 3600 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan beban kalor udara menggunakan *heatsink* PGA 478 pada kecepatan fluida 1,5 m/s:

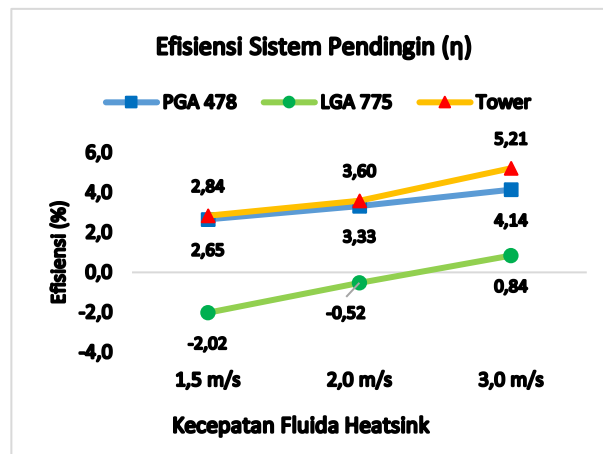
$$\begin{aligned}
 Q_{\text{udara}} &= m c (T_{\text{box.0}} - T_{\text{box.60}}) / t \\
 &= 0,0066 \times 1000 (31,80 - 25,00) / 3600 \\
 &= 63 \times 6,80 / 3600 \\
 &= 0,0125 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Efisiensi Sistem Pendingin ( $\eta$ )

Berikut perhitungan efisiensi sistem pendinginan menggunakan *heatsink* PGA 478 pada kecepatan fluida 1,5 m/s:

$$\begin{aligned}
 (\eta) &= (Q_{\text{dinding}} + Q_{\text{coldsink}} + Q_{\text{udara}}) / (V I) \times 100\% \\
 &= (1,870 + 0,255 + 0,0092) / (11,72 \times 6,87) \times 100\% \\
 &= 2,137 / 80,51 \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 0,0265 \times 100\%$$
$$= 2,65 \%$$



Gambar 9. Grafik efisiensi sistem pendingin

Efisiensi merupakan hasil jumlah beban pendinginan dibagi daya input pada modul termoelektrik. Efisiensi sistem tertinggi dihasilkan oleh *heatsink* tower pada kecepatan fluida 3,0 m/s yaitu sebesar 5,21 %. *Heatsink* tower mampu menurunkan temperatur udara dalam kotak pendingin hingga 11,70 °C dalam waktu 60 menit. Pada *heatsinks* PGA 478, mampu menghasilkan perbedaan temperatur udara hingga 9,50 °C dan mendapatkan nilai efisiensi sistem mencapai 4,14 %. Sedangkan pada *heatsink* LGA 775, menghasilkan perbedaan temperatur udara sebesar 1,2 °C dengan efisiensi sistem 0,84.

#### 4. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil nilai perhitungan dan analisa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Temperatur terminal dingin terendah dihasilkan dengan menggunakan *heatsink* tower pada kecepatan fluida 3,0 m/s yakni mencapai 0,20 °C, sedangkan temperatur terminal dingin tertinggi dihasilkan oleh *heatsink* LGA 775 pada kecepatan fluida 1,0 m/s yakni sebesar 23,65 °C. Kemudian pada *heatsink* PGA 478 menghasilkan temperatur terminal dingin terendah 5,35 °C pada kecepatan fluida 3,0 m/s.
- Rata-rata nilai COP modul *thermoelectric* dengan rata-rata tertinggi dihasilkan dengan menggunakan *heatsink* PGA 478 pada kecepatan fluida 1,0 m/s yakni 1,289. Kemudian pada *heatsink* tower menghasilkan rata-rata nilai COP tertinggi sebesar 1,198 dengan kecepatan fluida 1,0 m/s. Sedangkan pada *heatsink* LGA 775, nilai rata-rata COP tertinggi dihasilkan pada kecepatan fluida 1,0 m/s yakni 1,150.
- Efisiensi sistem mengalami kenaikan seiring dengan menurunnya temperatur udara di dalam kotak pendingin. Hasil efisiensi tertinggi dihasilkan dengan menggunakan *heatsink* tower pada kecepatan fluida 3,0 m/s yakni sebesar 5,21 %. Sedangkan hasil efisiensi tertinggi yang dihasilkan *heatsink* LGA 775, didapatkan pada kecepatan fluida 3,0 m/s yakni sebesar 0,84 %. Kemudian pada *heatsink* PGA 478, hasil efisiensi tertinggi sebesar 4,14 % pada kecepatan fluida 3,0 m/s.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Port, U. S. B. Dan, A. Sebagai, and D. Input. 2016. "Pengujian mesin pendingin minuman." Vol. 3, no. 2, pp. 1–5.
- [2] A. Aziz, J. Subroto, and V. Silpana. 2017. "Aplikasi modul pendingin termoelektrik sebagai media pendingin kotak minuman." *Technology*.
- [3] F. C. Putra and V. V. R. Repi. 2015. "Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan," *Ilm. GIGA*. vol. 18, no. November, pp. 73–80.
- [4] C. Y. A. Muchroji. (2008). "*Budi Daya Jamur Kuping*." Penebar Swadaya, Jakarta.
- [5] Markes, "The Peltier Effect." <https://www.markes.com/blog/The-Peltier-effect-a-cool-technology-for-thermal-desorption.aspx> (accessed Aug. 08, 2020).
- [6] H. F. Putra, D. Suprayogi, T. A. Ajiwiguna, and M. Eng. 2018. "Pengembangan Kotak Pendingn Berbasis Termoelektrik Dengan Cooling Box Development Based Thermoelectric By Utilizing." Vol. 5, no. 3, pp. 5801–5808.
- [7] D. H. Oktorina. (2006). "*Kajian Karakteristik Modul Termoelektrik Untuk Sistem Penyimpanan Dingin*." Skripsi. Inst. Pertan. Bogor Bogor.

- [8] T. A. Ajiwiguna, R. Nugroho, and A. Ismardi. 2018. "Method for thermoelectric cooler utilization using manufacturer's technical information." *AIP Conf. Proc.* Vol. 1941.
- [9] M. K. Rawat, H. Chattopadhyay, and S. Neogi. 2013. "A review on developments of thermoelectric refrigeration and air conditioning systems: a novel potential green refrigeration and air conditioning technology." *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.* Vol. 3, no. 3, pp. 362–367.
- [10] J. E. Poetro and C. R. Handoko. 2014. "Analisis Kinerja Sistem Pendingin Arus Searah Yang Menggunakan Heatsink Jenis Extruded Dibandingkan Dengan Heatsink Jenis Slot." *J. Tek. Mesin.* Vol. 21, no. 2.
- [11] J. P. Holman, "Perpindahan Kalor. Erlangga, Jakarta. Donald. Q., Kem., (1993). *Pocces Heat Transfer.*" McGraw-Hill, New York, 1984.
- [12] H. A. AL Fikri. (2016). "Efektifitas Modul Peltier Tec-12706 Sebagai Generator Dengan Memanfaatkan Energi Panas Dari Modul Peltier Tec-12706." Univ. Muhammadiyah Surakarta.
- [13] H. Prasetyo. 2015. "Analisis Pengaruh Luasan Heatsink Terhadap Unjuk Kerja Portable Mini Refrigerator." *Tek. Mesin.*
- [14] K. A. Kennedy and M. B. Anggara. 2016. "Pengaruh Laju Aliran Fluida Liquid-Cooled Heat Sink Terhadap Unjuk Kerja Sistim Pendingin Termoelektrik." *Fak. Tek.*
- [15] H. A. Aziz, R. I. Mainil, and A. Aziz. 2017. "Alat Pendingin Dan Pemanas Portable Menggunakan Modul Termoelektrik Tegangan Input 6 Volt Dengan Tambahan Heat Pipe Sebagai Media Pemindah Panas." Vol. 4, pp. 6–10.