

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Mega Nur Sasongko, dkk (2017), dengan judul “Pengaruh Jumlah TEC terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Termoelektrik”. Teknologi mesin pendingin berkembang sangat pesat. Hal ini dapat dibuktikan dengan semakin banyaknya inovasi yang dilakukan dalam dunia pengkondisian udara. Salah satunya adalah pengkondisian udara menggunakan *Thermal Electric Cooler* (TEC) yang ramah lingkungan, murah, dan hemat biaya. Termoelektrik adalah mesin pendingin yang menggunakan prinsip efek *peltier*, yaitu efek termoelektrik karena aliran listrik pada 2 jenis material yang berbeda sehingga menghasilkan sisi dingin dan sisi panas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah TEC terhadap unjuk kerja mesin pendingin termoelektrik yang meliputi *Coefficient of Performance* aktual dan teoritis, kelembaban udara dan beda temperature antara sisi panas dan dingin. Penelitian ini menggunakan termoelektrik dengan tipe TEC1-12706 dengan bahan dasar *Bismuth telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) dan *Antimony telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ). Sekumpulan TEC diletakkan diantara dua buah aliran *streamline* yang masing-masing aliran udara tersebut mewakili aliran untuk sisi panas dan sisi dingin. Jumlah TEC dalam penelitian ini divariasikan dalam 1, 2, 3, 4 dan 5 buah. Aliran udara panas dan dingin dijaga konstan pada masa alir 0.014 m<sup>3</sup>/dt dengan temperatur udara masuk saluran sebesar 26°C dan kelembaban 80%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa COP mesin pendingin termoelektrik yang terbesar terdapat pada jumlah TEC 3 buah yaitu dengan COP ideal sebesar 0,552 dan COP aktual sebesar 0,514. Selain itu penurunan temperatur dan kelembaban yang terbesar dapat dicapai pada jumlah TEC 5 buah, yaitu dengan penurunan temperatur dan kelembaban masing-masing sebesar 2,8°C dan 85,56%. (Mega Nur Sasongko, dkk 2017)

Penelitian dengan judul “Analisa Perpindahan Panas pada Alat Pembawa Vaksin (*Vaccine Carrier*). Berbentuk kotak dengan bahan dasar komposit *fiberglass* menggunakan 1 elemen *peltier*” bertujuan untuk mengetahui analisa

perpindahan panas. Penelitian yang dilakukan dengan membedakan antara kotak non casing dan di-casing. *in door* dan *out door* serta dengan memvariasikan tegangan input 12.1V, 14.5V, 15.4V, serta 17.3V ini menghasilkan data bahwa penambahan casing komposit fiberglass mampu meningkatkan efisiensi pendinginan sebesar 0.37988%, serta dengan input listrik dengan tegangan 12.1 V dan arus 3.58 ampere dengan kondisi pengambilan data *in door* menghasilkan kerja yang optimal dengan nilai COP sebesar 0.003794. (Dalvon B. Amung dkk, 2017).

Jenny delly, dkk (2016), dengan judul “Studi Penggunaan Modul Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Portabel”. Penelitian ini difokuskan untuk merancang dan menguji pendingin termoelektrik dengan variasi input daya pada pompa untuk beban 150 gr buah jeruk. Hasil pengujian diperoleh besarnya kalor yang diserap sebesar 0, 1524 Watt dari jumlah panas total sebesar 3,165 watt. Pada saat pemberian daya listrik pada pompa sebesar 9 W selama 45 menit, temperatur dalam box adalah 22 °C dari temperatur awal 31 °C. Termoelektrik yang digunakan adalah TEC 1-12706 yang mampu mencapai temperatur 5°C. Accumulator yang digunakan pada sistem menggunakan accumulator merek GS 12V 70 Ah. Hasil pengujian ini menyimpulkan bahwa temperatur dalam box turun 8°C pada penggunaan daya listrik 9 W. (Jenny Delly, dkk 2016)

Pada penelitian Ardhi Kamal Haq, dkk dengan judul “Pengujian Kinerja *Couple* Termoelektrik Sebagai Pendingin Prosesor”. Penelitian ini menggunakan 2 termoelektrik, satu sebagai sumber arus dan satunya lagi sebagai pendingin dengan variasi perbedaan temperatur dan tegangan pada pemanas/heater sebagai sumber panas. Variasi perbedaan temperatur dilakukan dengan nilai antara 21-50 °C, sementara untuk variasi tegangan dengan nilai 1,5V, 3V, 7,5V, 9V, dan 12V. Hasil percobaan menyatakan bahwa dengan perbedaan temperatur 45-50 °C menghasilkan tegangan 3,27 Volt untuk dialirkan pada termoelektrik kedua dengan nilai temperatur minimum 24,25 °C, sehingga temperatur prosesor akan turun sebesar menurun 24,88 °C menjadi 49,13 °C. Dengan demikian maka efektivitas maksimum dari pendingin prosesor *couple* termoelektrik ini adalah 64, 68%. (Ardhi Kamal Haq, dkk 2017)

Mirmanto, dkk (2018), dengan judul “Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Variasi Laju Aliran Massa Air Pendingin” Penelitian ini

mengkaji pengaruh laju aliran massa air pendingin terhadap *Coefisien of Performance* (COP) kotak pendingin dan dengan harapan dapat menaikkan *Coefisien of Performance* (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 24,5cm x 20 cm x 28,5 cm. Data pengujian dicatat menggunakan data logger DAQ MX 9714 NI yang dihubungkan dengan komputer melalui program *Lab View*. Laju aliran massa yang digunakan adalah 5 g/s, 10 g/s, dan 15g/s, dan daya yang digunakan sebesar 41,87 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju aliran massa air pendingin kurang berpengaruh terhadap *Coefisien of Performance* (COP) kotak pendingin. Ini mungkin disebabkan rentang laju aliran massa air kurang besar, jadi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan penelusuran penulis terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang cukup relevan dengan penelitian ini. Penelitian ini dengan penelitian sebelumnya memiliki perbedaan dan persamaan. Peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Jumlah TEC terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Thermoelektrik”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah TEC terhadap unjuk kerja mesin pendingin termoelektrik yang meliputi *Coefficient of Performace* (COP), kelembaban udara dan beda temperature antara sisi panas dan dingin. Penelitian ini menggunakan termoelektrik dengan tipe TEC1-12706 dengan bahan dasar *Bismuth telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) dan *Antimony telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ). Sekumpulan TEC diletakkan diantara dua buah aliran streamline yang masing-masing aliran udara tersebut mewakili aliran untuk sisi panas dan sisi dingin. Jumlah TEC dalam penelitian ini divariasikan dalam 1, 2, 3, 4 dan 5 buah. Aliran udara panas dan dingin dijaga konstan pada masa alir 0.014 m<sup>3</sup>/dt dengan temperatur udara masuk saluran sebesar 26 °C dan kelembaban 80%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa COP mesin pendingin termoelektrik yang terbesar terdapat pada jumlah TEC 3 buah yaitu dengan COP ideal sebesar 0,552 dan COP aktual sebesar 0,514. Selain itu penurunan temperatur dan kelembaban yang terbesar dapat dicapai pada jumlah TEC 5 buah, yaitu dengan penurunan temperatur dan kelembaban masing-masing sebesar 2, 8 °C dan 85, 56%.

Persamaanya penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu sama sama bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah TEC terhadap unjuk kerja mesin pendingin termoelektrik yang meliputi *Coefficient of Performace* (COP). Perbedaanya yakni penelitian sebelumnya bahkan penelitian terdahulu selalu menggunakan termoelektrik dengan tipe TEC 12706 oleh sebab itu pada penelitian ini mencoba menganalisa dengan menggunakan termoelektrik dengan tipe yang berbeda yaitu dengan modul termoelektrik dengan tipe TEC 12705.

## **2.2 Coefisien of Performance (COP)**

*Coefficient of Performance* (COP) dari pompa panas merupakan rasio pendinginan atau pemanasan yang disediakan sebagai kebutuhan kerja. Angka dari *Coefficient of Performance* (COP) berbanding terbalik dengan biaya operasionalnya. Jika *Coefficient of Performance* (COP) memiliki angka yang lebih tinggi, maka biaya operasional yang dibutuhkan akan jadi lebih rendah.

*Coefficient of Performance* (COP) merupakan ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin terhadap besarnya daya listrik yang masuk. Besarnya COP lebih kecil jika dibandingkan dengan *Coefficient of Performance* (COP) mesin pendingin kompresi uap (*Cengel and Boles, 2000*).

## **2.3 Pendingin Termoelektrik (TEC)**

Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai.

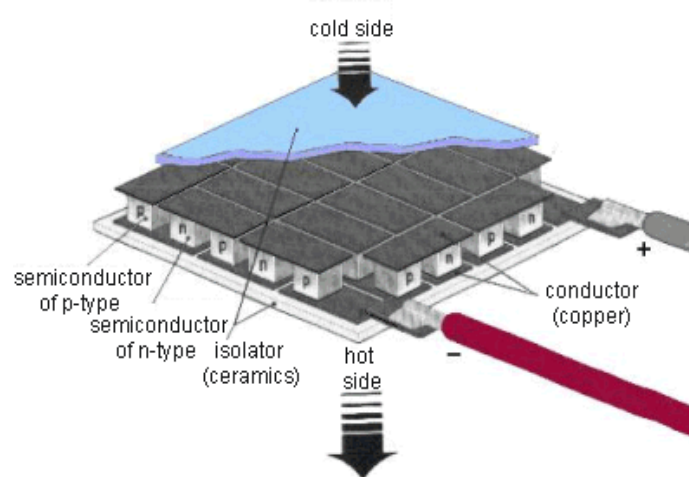
Pendingin termoelektrik merupakan *solid state technology* yang bisa menjadi alternative pendingin selain system kompresi uap. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang masih menggunakan *refrigerant* sebagai media penyerap panas, teknologi pendingin termoelektrik lebih ramah lingkungan, tahan lama, dan bisa digunakan dalam skala besar. Pendingin termoelektrik ini mempunyai

kemampuan mendinginkan dan memanaskan sekaligus dimana perubahan polaritas tegangan akan membalikkan fungsi dari panas ke dingin dan sebaliknya. Jika sebuah elemen termoelektrik dialiri arus listrik DC maka kedua sisi elemen ini akan menjadi panas dan dingin. Sisi dingin inilah yang dimanfaatkan sebagai pendingin udara ruangan *dry box* dengan bantuan *heatsink* dan *fan*. Dengan demikian tidak diperlukan kompresor seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional, sehingga tidak menimbulkan suara bising.

#### 2.4 Prinsip kerja termoelektrik

Sebuah modul termoelektrik tersusun dari pasangan-pasangan balok semikonduktor (*thermocouple*) berbahan *Bismuth Telluride* yang telah diberi *impurities (doped)*. Semikonduktor Tipe-N telah diberi *impurities* oleh bahan-bahan yang memberikan elektron tambahan, sehingga jumlah elektronnya menjadi berlebih. Sebaliknya pada semikonduktor Tipe-P yang telah diberi *impurities* bahan-bahan yang mengurangi jumlah elektron, sehingga terdapat lubang-lubang (*holes*) yang nantinya akan menerima elektron dari Tipe-N. Ketika terjadi beda potensial, elektron-elektron yang mengalir dari semikonduktor tipe-P ke tipe-N akan menyerap energi kalor dari sisi dingin. Ketika elektron-elektron mengalir dari semikonduktor tipe-N ke tipe-P akan dilepaskan energi kalor ke sisi panas. Sehingga daerah di sekitar sambungan dingin akan menjadi dingin dan daerah di sekitar sambungan panas harus diberikan alat penukar kalor agar modul tidak rusak akibat *overheating*.

Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek *Peltier*, yaitu ketika arus DC dialirkan ke elemen *Peltier*, maka salah satu sisi elemen *Peltier* menjadi dingin (panas diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (panas dilepaskan), seperti pada Gambar (2.1).

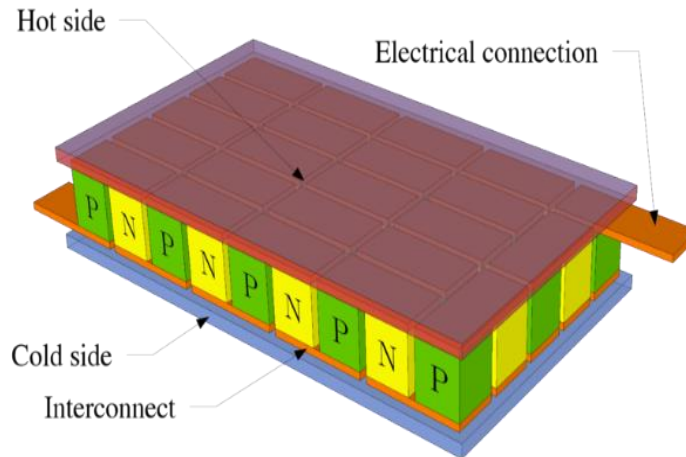


**Gambar 2. 1** Susunan *Elemen Peltier* (Kanellos, M. 2008)

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen *Peltier* menjadi dingin adalah adanya aliran elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-P, ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-N. Supaya elektron tipe P yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap energi yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin.

## 2.5 Sistem Pendingin Termoelektrik

Bagian penting dari sebuah sistem pendingin termoelektrik adalah alat penukar panas (*heat exchanger*), seperti *heatsink*, *heatpipe*, dan sebagainya. Bagian ini mutlak diperlukan, sebab jika sisi panas *peltier* dapat dipertahankan konstan, maka sisi dingin dari elemen *peltier* akan mampu menyerap panas secara konstan pula. Sistem pendingin termoelektrik memerlukan *heatsink* yang berfungsi untuk menyerap panas pada sisi dingin elemen *peltier* dan membuang panas pada sisi panas *peltier*. Susunan dasar sistem pendingin termoelektrik setidaknya terdiri dari elemen *peltier* dan *heatsink* baik pada sisi dingin elemen *peltier* maupun pada sisi panas *peltier*, seperti pada Gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Susunan dasar system *elemen peltier* (Kanellos, M. 2008)

Bagian yang akan didinginkan dapat langsung dihubungkan dengan sisi dingin elemen *peltier*. Dapat juga dihubungkan terlebih dahulu dengan alat penukar panas sebelum dihubungkan dengan sisi dingin elemen *peltier*. Alat penukar panas tersebut dapat berupa fluida atau dengan konveksi udara. Sedangkan panas yang dihasilkan pada sisi panas elemen *peltier* juga dapat disalurkan ke lingkungan melalui udara baik secara alami maupun konveksi paksa atau dengan media pendingin air maupun fluida lainnya.

## 2.6 Kinerja termoelektrik

Dalam menganalisa kinerja modul termoelektrik dapat diamati bahwa perpindahan panas yang terjadi dari beban kalor menuju sisi dingin modul termoelektrik dapat diketahui dari jumlah kalor yang dipompa oleh efek *Peltier*, panas yang berpindah dari sisi panas ke sisi dingin karena konduktivitas termal material termoelektrik, dan sebagian dari total *efek Joule heating* yang ditimbulkan oleh arus listrik terhadap tahanan *thermal* (Al-Kaby).

Kalor yang “dipompa” oleh efek *Peltier*

$$Q_p = \alpha \cdot T_c \cdot I \quad (2.1)$$

Dimana:

$Q_p$  = Kalor yang dipompa oleh efek *peltier* (W)

$\alpha$  = *Coefisien seebeck* (V/K)

$T_c$  = Temperatur sisi dingin (K)

$I$  = Arus listrik yang diberikan pada termoelektrik (A)

Kalor yang berpindah karena konduktivitas *thermal*

$$Q_k = K \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Dimana:

$Q_k$  = Kalor yang berpindah karena konduktivitas *thermal* (W)

$K$  = Konduktivitas *thermal* (W/m K)

$\Delta T$  = Beda temperature sisi panas dan sisi dingin (K)

*Efek joule heating* yang ditimbulkan oleh arus listrik

$$Q_j = I^2 \cdot \frac{R}{2} \quad (2.3)$$

Dimana:

$Q_j$  = *Efek joule heating* yang ditimbulkan oleh arus listrik (W/m K)

$R$  = Tahanan elektrik ( $\Omega$ )

Kalor yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik

$$Q_c = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T - \frac{I \cdot R}{2} \quad (2.4)$$

Dimana:

$Q_c$  = Kalor yang diserap sisi dingin (W/m K)

Seperti sudah diuraikan diatas, pada persamaan (4) memperlihatkan bahwa suku pertama adalah energi listrik yang diberikan, suku kedua adalah energi panas yang diteruskan secara konduksi, dan suku ketiga merupakan rugi-rugi panas akibat arus listrik.

Kalor yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik

$$Q_h = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T - \frac{I \cdot R}{2} \quad (2.5)$$

Dimana:

$Q_h$  = Kalor yang dilepas pada sisi panas (W)

*Coefisien seebeck*

$$\alpha = 2 \cdot \alpha_m \cdot N \quad (2.6)$$

Dimana:



$\alpha_m$  = Koefisien seebeck elemen (V/K)

N = Jumlah sambungan elemen pada termoelektrik

= 127 (berdasarkan tipe TEC1-127)

*Coefisien Seebeck* elemen

$$\alpha_m = \alpha_0 + \alpha_1 T_{ave} + \alpha_2 T_{ave}^2 \quad (2.7)$$

Dimana:

$\alpha_m$  = *Coefisien Seebeck* elemen (V/K)

$\alpha_0$  =  $2.2224 \times 10^{-5}$

$\alpha_1$  =  $9.306 \times 10^{-7}$

$\alpha_2$  =  $-9.905 \times 10^{-10}$

$T_{ave}$  = Temperatur rata-rata sisi dingin dan sisi panas (K)

Konduktivitas *thermal*

$$K = 2 \cdot K_m \cdot N \cdot G \quad (2.8)$$

Dimana:

$K_m$  = Konduktivitas *thermal* elemen (W/m K)

G = Faktor geometri elemen 0.121(W/mm K)

Konduktivitas termal elemen

$$K_m = K_0 + K_1 T_{ave} + K_2 T_{ave}^2 \quad (2.9)$$

Dimana:

K = Konduktivitas *thermal* elemen (W/m K)

$K_0$  =  $6.2605 \times 10^{-2}$

$K_1$  =  $-2.777 \times 10^{-4}$

$K_2$  =  $4.131 \times 10^{-7}$

$T_{ave}$  = Temperatur rata rata sisi dingin dan sisi panas (K)

Tahanan elektrik

$$R = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \quad (2.10)$$

Dimana:

$\rho$  = Tahanan elektrik elemen ( $\Omega cm$ )

Tahanan elektrik elemen

$$\rho = \rho_0 + \rho_1 T_{ave} + \rho_2 T_{ave}^2 \quad (2.11)$$

Dimana:

$$\rho_0 = 5.112 \times 10^{-5}$$

$$\rho_1 = 1.634 \times 10^{-6}$$

$$\rho_2 = 6.279 \times 10^{-9}$$

Dengan mensubstitusi persamaan (6), (8), (10) ke persamaan (4) dapat diperoleh:

Kalor yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik

$$Q_c = 2N \left[ \alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T \cdot G - \left( \frac{I^2 \cdot \rho}{2 \cdot G} \right) \right] \quad (2.12)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (6), (8), (10) ke persamaan (5) dapat diperoleh:

Kalor yang diserap pada sisi panas modul termoelektrik

$$Q_h = 2N \left[ \alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T \cdot G + \left( \frac{I^2 \cdot \rho}{2 \cdot G} \right) \right] \quad (2.13)$$

Daya listrik yang diberikan pada modul termoelektrik

$$P_{in} = I^2 \times R \quad (2.14)$$

Kesetimbangan energi

$$Q_h = Q_c + P_{in} \quad (2.15)$$

*Coefficient of Performance (COP)*

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

Dimana:

COP = Rasio perbedaan antara output dengan input

$Q_c$  = Kalor yang diserap pada sisi dingin termoelektrik (Watt)

$P_{in}$  = Daya listrik yang digunakan oleh termoelektrik (Watt)