

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 PENDINGIN TERMOELEKTRIK**

Dua logam yang berbeda disambungkan dan kedua ujung logam tersebut dijaga pada temperatur yang berbeda, maka akan ada lima fenomena yang terjadi, yaitu fenomena efek joule, efek fourier, efek seebeck, efek peltier dan efek thomson [2].

Efek peltier ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834 dengan memberikan tegangan pada dua sambungan logam yang berbeda menghasilkan perbedaan temperatur. Hasil penemuan ini diikuti dengan perkembangan teknologi material semikonduktor menghasilkan alat yang dinamakan pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*). Teknologi ini berkembang dengan pesat baik pada bidang aplikasi pendinginan maupun pemanasan setelah adanya perkembangan material semikonduktor [3]

##### **2.1.1 Prinsip kerja pendingin termoelektik**

Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek peltier, yaitu ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe n (semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi), akan mengakibatkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan), seperti pada gambar 2.1 Sisi elemen peltier yang menjadi sisi panas maupun dingin tergantung dari arah aliran arus listrik.

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalir 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 kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin. Sedangkan pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sambungan sisi panas, dimana elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor

tipe-n) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe-p), untuk dapat mengalir ke semikonduktor tipe p, kelebihan energi pada tipe n dibuang ke lingkungan sisi tersebut menjadi panas.



**Gambar 2.1** Skema aliran peltier ([www.melcor.com](http://www.melcor.com))

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 penyerapan kalar dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari modul peltier. Sehingga nilai kalar yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalar yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan ke modul.

$$Q_h = Q_c + P_{in} \quad (1)$$

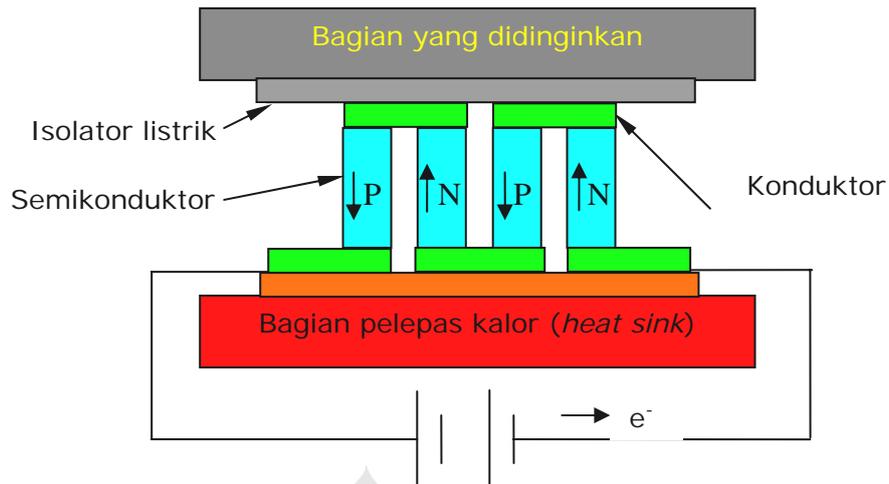
Dimana :

$Q_h$  = kalar yang dilepaskan pada bagian *hot side* elemen Peltier ( Watt )

$Q_c$  = kalar yang diserap pada bagian *cold side* elemen Peltier ( Watt )

$P_{in}$  = daya input ( Watt )

Pada Gambar 2.2, Elektron mengalir dari semikonduktor pada tipe p yang kekurangan energi, menyerap kalar pada bagian yang didinginkan kemudian mengalir ke semikonduktor tipe n. Semikonduktor tipe n yang kelebihan energi membuang energi tersebut ke lingkungan dan mengalir ke semikonduktor tipe p dan seterusnya.



**Gambar 2.2** Arah aliran elektron pada modul termoelektrik.

Kelebihan pendingin termoelektrik ( *thermoelectric cooler* ) antara lain ketahanan alat yang baik, tidak menimbulkan suara, tidak adanya bagian mekanikal yang bergerak sehingga tidak menimbulkan getaran, perawatan yang mudah, ukuran yang kecil, ringan, ramah terhadap lingkungan karena tidak menggunakan refrigeran yang dapat merusak ozon, termoelektrik dapat juga digunakan pada lingkungan yang sensitif, tidak adanya ketergantungan terhadap posisi peletakan, ketelitian kontrol temperatur  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  dapat dicapai dengan menggunakan termoelektrik, dan cocok digunakan pada aplikasi kotak pendingin dibawah 25 Watt. Sedangkan kelemahan thermoelektrik adalah efisiensi yang rendah dan adanya kondensasi pada suhu tertentu. Sehingga sampai saat ini pendingin termoelektrik hanya efektif pada aplikasi untuk objek pendinginan dan daya yang kecil [2].

## 2.2. *HEAT PIPE*

Sistem pendingin termoelektrik yang baik tidak terlepas dari *heat sink* yang bagus. Desain dan pemilihan *heat sink* sangat krusial dan mempengaruhi secara keseluruhan unjuk kerja sistem termoelektrik. *Heat sink* seharusnya didisain dengan tujuan untuk meminimalkan tahanan termal.

*Heat sink* yang optimal akan meningkatkan *coefficient of performance* dari sistem pendingin termoelektrik. Hal ini dapat dilakukan dengan cara

memaksimalkan luas permukaan atau dengan menggunakan *heat pipe* untuk mempercepat perpindahan kalor. Alternatif lainnya *heat sink* yang digunakan mempunyai kapasitas penyimpanan kalor yang besar, sehingga dapat menjaga temperatur *heat sink* relatif rendah [2].

*Heat Pipe* adalah sebuah alat yang memiliki nilai konduktivitas termal tinggi, yang digunakan sebagai pemindah kalor dimana kuantitas kalor yang dipindahkan relatif besar dengan hanya nilai perbedaan temperatur yang kecil antara permukaan panas dan dingin. *Heat Pipe* dapat digunakan pada situasi dimana sumber panas dan pelepas panas diharuskan terpisah, untuk membantu konduksi atau menyebarkan panas pada bidang. Tidak seperti pendingin termoelektrik, *heat pipe* tidak mengkonsumsi energi ataupun menghasilkan panas sendiri.

### **2.2.1 Sejarah Heat Pipe**

Perkembangan *heat pipe* dimulai oleh Angier March Perkins yang mengawali konsep tentang fluida kerja dengan satu fase ( hermatic tube boiler;memperoleh paten pada tahun 1839 ) . Jacob Perkins (salah satu keturunan dari Angier March) mematenkan alat yang dinamakan Perkins Tube tahun 1936 dan berkembang luas penggunaannya pada boiler lokomotif dan baking oven. [4].

Perkins Tube merupakan lompatan penting bagi perkembangan *heat pipe* dewasa ini. Konsep dari moderen *heat pipe* adalah penggunaan wick structure untuk memindahkan fluida kerja ke bagian kondenser dengan melawan efek dari gravitasi. Konsep ini diletakan oleh R.S. Gaugler dari General Motors Corporation, dia melukiskan bahwa *heat pipe* dapat diaplikasikan dalam sistem refrigerasi karena memang prinsip kerja dari fuida kerja pada sebuah *heat pipe* sama dengan yang terdapat pada sistem refrigerasi secara umum. Dan setelah itu peneitian tentang *heat pipe* pun menjadi populer.

### 2.2.2 Prinsip Kerja Heat Pipe

Prinsip kerja dari heat pipe mirip dengan sistem refrigerasi, yaitu dengan metode evaporasi-kondensasi yang terjadi pada fluida kerja. Sebuah tabung dari logam yang didalamnya terdapat fluida kerja dan membentuk suatu sistem tertutup. Dimana bagian ujung yang satu dari tabung tersebut dipanaskan dan satunya lagi didinginkan. Sumber panas yang diserap oleh bagian evaporator menyebabkan fluida kerja mendidih dan berubah fasa menjadi uap, hal ini juga menciptakan perbedaan tekanan yang mengakibatkan uap mengalir menuju pendingin di ujung lainnya (kondenser). Pada bagian ini fluida kerja kembali berubah fasa menjadi cair dengan melepas energi berupa kalor dan kemudian kembali lagi ke bagian panas (evaporator) dengan memanfaatkan gravitasi. Proses ini terjadi berulang – ulang. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 Prinsip Kerja Heat



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Heat Pipe

Sumber: [www.thermacore.com](http://www.thermacore.com)

### 2.3 PERPINDAHAN KALOR PADA ALAT BOX CARRIER

Perpindahan kalor yang terjadi pada *Box Carrier* adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi pada dinding ruang pendingin, bracket,

### 2.3.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan kalor/panas tanpa diikuti oleh perpindahan dari molekul benda tersebut. Konduksi juga dapat dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang cukup besar menuju ke benda yang memiliki energi yang rendah.

Persamaan yang digunakan untuk perpindahan kalor konduksi dikenal dengan Hukum Fourier, yaitu :

$$q = -k.A \frac{T_0 - T_1}{\Delta x} \quad (2)$$

Untuk mencari nilai tahanan termal dari suatu material padatan digunakan rumus :

$$R_T = \frac{T_0 - T_1}{q} = \frac{l}{kA} \quad (3)$$

dimana :

$q$  = energi kalor (W)

$k$  = konduktivitas thermal (W/m.K)

$A$  = luas permukaan ( $m^2$ )

$\Delta x$  = tebal penampang permukaan (m)

$T_0$  = Temperatur yang lebih tinggi (K)

$T_1$  = Temperatur yang lebih rendah (K)

Nilai minus, (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa kalor selalu berpindah ke arah temperatur yang lebih rendah.

### 2.3.1 Perpindahan Kalor Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi akibat adanya pergerakan molekul pada suatu zat, gerakan inilah yang menyebabkan adanya transfer kalor [7]. Konveksi sendiri dapat dibagi menjadi 2, yaitu konveksi bebas atau konveksi alamiah dan konveksi paksa. Konveksi bebas atau konveksi alamiah terjadi apabila pergerakan fluida dikarenakan gaya apung (*bouyancy force*) akibat

perbedaan densitas fluida tersebut. Perbedaan kerapatan itu sendiri bisa terjadi karena adanya perbedaan temperatur akibat proses pemanasan. Sedangkan pada konveksi paksa pergerakan fluida terjadi akibat oleh gaya luar seperti dari kipas (*Fan*) atau pompa. Pada perpindahan kalor konveksi berlaku hukum pendinginan Newton, yaitu :

$$q = h.A(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

dimana :

- $q$  = energi kalor (W)
- $h$  = koefisien perpindahan kalor konveksi ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )
- $A$  = luas area permukaan ( $\text{m}^2$ )
- $T_s$  = temperatur permukaan (K)
- $T_\infty$  = temperatur *ambient* (K)

### 2.3.2 Tahanan Kontak Termal

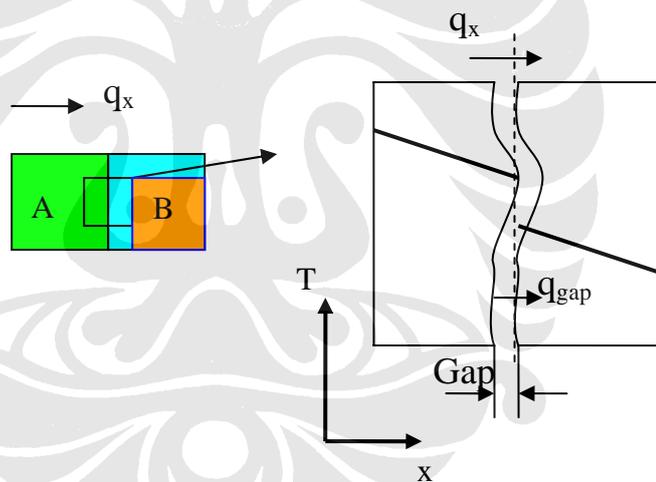
Pada pemasangan modul termoelektrik dengan *Heat Pipe* akan terjadi bidang kontak antara keduanya yang akan menyebabkan penurunan temperatur secara tiba-tiba pada persinggungan keduanya. Hal ini terjadi karena adanya tahanan kontak termal (*thermal contact resistance*), dimana nilai kekasaran permukaan bidang kontak akan mempengaruhi laju perpindahan kalor. Ada dua unsur pokok yang menentukan perpindahan kalor pada sambungan, yaitu :

- a. Konduksi antara zat padat dengan zat padat pada titik- titik persinggungan (*contact spot*).
- b. Konduksi melalui gas yang terkurung pada ruang – ruang lowong yang terbentuk karena persinggungan (*air gap*).

Kedua faktor ini diperkirakan memberikan pengaruh utama terhadap aliran kalor, seperti terlihat pada Gambar 2.4. Penurunan temperatur karena adanya hambatan kontak

pengaruh hambatan kontak terhadap laju kalor. Karena konduktivitas gas sangat kecil dibandingkan dengan zat padat, maka jika terdapat ruang kosong pada permukaan kontak dapat menyebabkan turunnya daya hantar kalor permukaan.

Gambar 2.4. Penurunan temperatur karena adanya hambatan kontak



Adapun besarnya nilai tahanan kontak adalah :

$$R_{t,c} = \frac{(T_A - T_B)}{q_x}$$

Dimana :

- $R_{t,c}$  = Tahanan termal ( °C / W )
- $T_A$  = Temperatur material A ( °C )
- $T_B$  = Temperatur material B ( °C )
- $q_x$  = Heat flux ( W/m<sup>2</sup> )