

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Termoelektrik**

Termoelektrik adalah suatu perangkat yang dapat mengkonversi energi kalor (perbedaan temperatur) menjadi energi listrik secara langsung. Selain itu, termoelektrik juga dapat mengkonversikan energi listrik menjadi proses pompa kalor/refrigerasi. Secara umum ada dua macam fenomena yang terjadi pada perangkat termoelektrik, yaitu: efek Seebeck dan efek Peltier.

##### **2.1.1 Sejarah Singkat Termoelektrik**

Efek termoelektrik adalah subjek yang sangat penting pada ilmu fisika di bidang benda padat. Efek utama yang dipakai merupakan dampak dari efek Seebeck yang ditemukan oleh seorang bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821, kemudian efek Peltier ditemukan oleh seorang bernama Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834. Yang keduanya memiliki peranan yang sangat penting pada pelaksanaan pengujiannya.

Termoelektrik didasari oleh Efek Peltier. Efek Peltier merupakan salah satu dari tiga efek termoelektrik, dua lainnya dikenal sebagai efek Seebeck dan efek Thomsont. Sedangkan dua efek terakhir masih ada dalam konduktor tunggal, efek Peltier merupakan fenomena khusus persimpangan dalam dua batang semikonduktor.

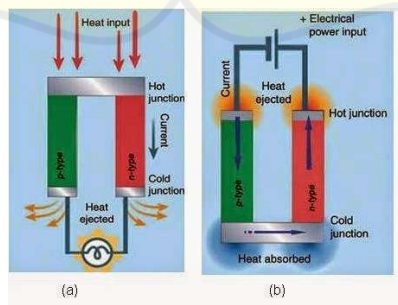
##### **2.1.2 Efek Seebeck**

Efek Seebeck pertama kali diamati oleh seorang bernama dokter Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821, ketika ia mempelajari fenomena

*Termoelectric.* Efek seebeck merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambunga ini, maka akan terjadi arus listrik akan terjadi. Prinsip ini lah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik). Setiap bahan memiliki koefisien seebeck yang berbeda-beda. Semakin besar koefisien seebeck ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan thermocouple.

### 2.1.3 Efek Peltier

Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834 telah mendasari efek termoelektrik pada sistem pendingin. Ketika arus listrik melewati persimpangan dua plat bahan semikonduktor dengan sifat yang berbeda akan terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua plat tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Penyerapan dan pelepasan panas yang terjadi saling berbalik ketika arah polaritasnya dibalik.



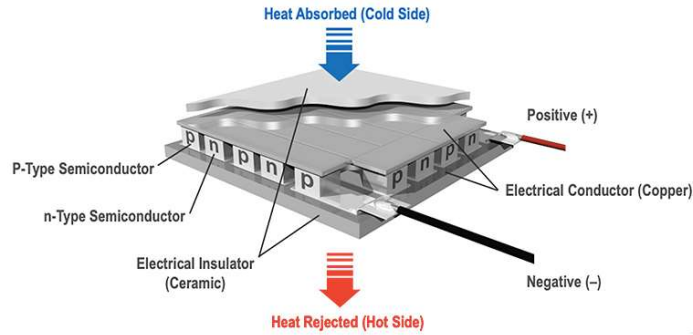
Gambar 2.1 (a) Termoelektrik sebagai generator listrik, (b) Geneerator sebagai pendingin/pompa kalor

(Sumber : <http://www.idtechex.com/>)

## 2.2 Elemen Termoelektrik Peltier

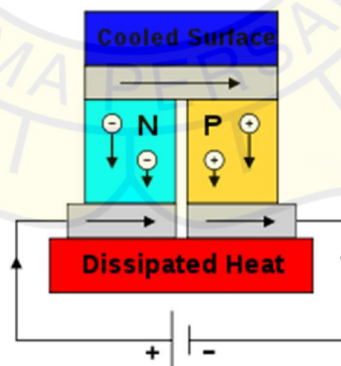
Elemen termoelektrik Peltier merupakan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dihubungkan dalam suatu rangkaian listrik tertutup yang terdapat beban. Dari perbedaan suhu yang ada pada tiap *junction* disetiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan elektron berpindah dari sisi panas menuju sisi dingin. Jika pada batang logam semikonduktor berlaku prinsip kedua efek (efek Seebeck dan efek Peltier), batang semikonduktor dipanaskan dan didinginkan pada dua semikonduktor tersebut, maka elektron pada sisi panas semikonduktor akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin semikonduktor. Dengan kecepatan yang lebih tinggi pula, maka elektron dari sisi panas akan mengalami difusi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan elektrik pada semikonduktor tersebut.

Elemen peltier atau pendingin termoelektrik (*termoelectric cooler*) merupakan alat yang dapat menimbulkan perbedaan suhu antara kedua sisinya jika dialiri arus listrik searah pada kedua kutub materialnya, dalam hal ini semikonduktor. Dalam hal refrigerasi, keuntungan utama dari elemen peltier adalah tidak adanya bagian yang bergerak atau cairan yang bersirkulasi dan ukurannya kecil serta bentuknya sangat mudah untuk direkayasa. Sedangkan kekurangan dari elemen peltier ada pada faktor efisiensi daya yang rendah dan biaya perancangan sistem yang masih relative mahal. Namun kini banyak peneliti yang sedang mencoba mengembangkan elemen peltier yang lebih murah dan juga efisien. (Rio Wirawan, 2012)



Gambar 2.2 Elemen Peltier  
(Sumber : [www.medicaldesignandoutsourcing.com](http://www.medicaldesignandoutsourcing.com) )

Elemen peltier tersusun atas serangkaian dua tipe semikonduktor (tipe p dan tipe n) yang dihubungkan secara seri. Pada setiap dua sambungan antara dua tipe semikonduktor tersebut dari logam/tembaga. Interkoneksi konduktor tersebut diletakkan masing-masing dibagian bawah semikonduktor. Konduktor bagian atas ditunjukkan untuk membuang kalor dan konduktor bagian bawah ditunjukkan untuk menyerap kalor. Pada kedua bagian interkoneksi ditampelkan plat yang terbuat dari kramik. Plat tersebut dibuat untuk memusatkan kalor yang ditimbulkan oleh konduktor.



Gambar 2.3 Ilustrasi aliran arus pada elemen peltier  
(Sumber : <https://galanghakim.wordpress.com/>)

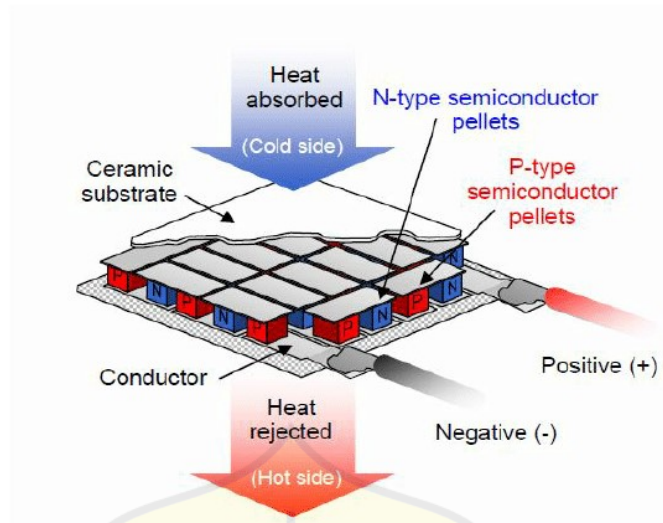
Interkoneksi antara semikonduktor pada elemen peltier terbuat dari konduktor yang menyebabkan arus dapat mengalir dalam kedua arah, berbeda dengan diode yang interkoneksinya (*depletion layer*) hanya membuat arus mengalir dalam satu arah saja. (R. Umoh, 2010).

## **2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik**

Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan Efek Seebeck yaitu "jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain" ( Muhaimin, 1993).

### **2.3.1 Prinsip Kerja Termoelektrik Sebagai Pendingin**

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



Gambar 2.4 Skema Peltier  
(Sumber : Hadied, Vol.3 2018)

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalirnya electron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe p, ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe n. Agar elektron tipe p yang memiliki tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron akan 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 akan dibuang ke lingkungan dan sisi tersebut menjadi panas. Penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari elemen peltier. Membuat nilai kalor yang dilepas pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan pada modul termoelektrik, atau sesuai dengan persamaan :

$$Q_h = Q_c + P_m \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

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

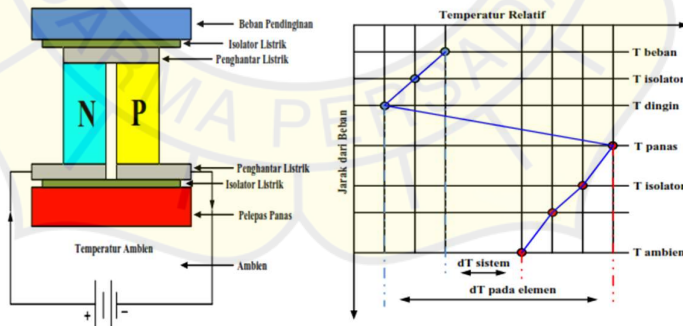
$Q_c$  = kalor yang diserap pada bagian *cold side* elemen Peltier (Watt)

$P_m$  = daya input (Watt)

### 2.3.2 Parameter Elemen Termoelektrik Sebagai Pendingin

Pada penggunaan modul termoelektrik terdapat tiga parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Temperatur permukaan sisi panas Peltier / *hot side* ( $T_h$ )
2. Temperatur permukaan sisi dingin Peltier / *cold side* ( $T_c$ )
3. Beban kalor yang dapat ditransfer dari kompartemen dingin ( $Q_c$ ) di dalam panas modul, yaitu :
  - Temperatur ambien lingkungan
  - Efisiensi *Heat Sink* yang digunakan pada sisi panas modul.



Gambar 2.5 Temperatur Modul Termoelektrik (TEC)  
 ( Sumber : Seminar tahunan Teknik Mesin, 06 - 07 Desember 2004 )

Pada gambar 2.6 di atas menggambarkan tentang temperatur sistem termoelektrik. Ada dua  $dT$  temperatur yaitu  $dT$  sistem dan  $dT$  pada elemen.  $dT$  adalah merupakan temperatur perbedaan temperatur antara sisi dingin

elemen peltier dan sisi panas elemen peltier. Secara umum pencapaian  $dT$  ( $T$  panas –  $T$  dingin) dari modul termoelektrik selalu mendekati konstan. Jika  $T$  panas semakin rendah maka  $T$  dingin semakin dingin bila  $T$  panas akan semakin tinggi maka  $T$  dingin tidak perlu dingin.

### 2.3.3 Komponen Dasar Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin

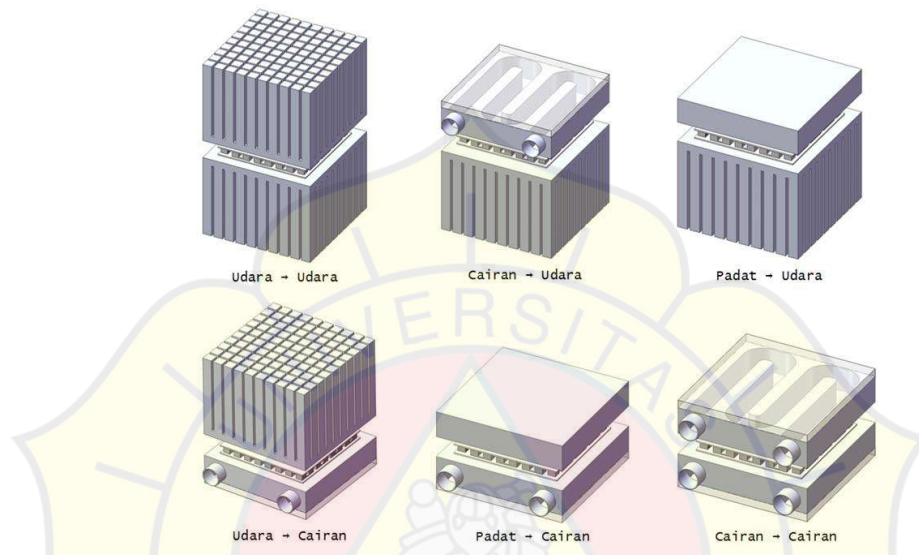
Pada pendingin termoelektrik Peltier terdapat *heatsink* yang berfungsi untuk menyerap kalor pada sisi dingin elemen peltier maupun pada pembuangan kalor pada sisi panas peltier. Susunan dasar termoelektrik setidaknya terdiri dari elemen-elemen peltier dan *heat sink* baik pada sisi dingin elemen peltier maupun pada sisi panas, seperti yang diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6 Susunan dasar system pendingin Termoelektrik (TEC)  
(Sumber : The Development of Potable Blood Carrier By Using Thermoelectric and Heat Pipes, The 10<sup>th</sup> International Conference On Quality In Research (QIR), Depok 04-06 Desember 2007 )

Bagian yang didinginkan dapat langsung dihubungkan dengan sisi dingin elemen peltier maupun dihubungkan terlebih dahulu dengan alat penukar kalor sebelum dihubungkan dengan sisi dingin elemen peltier. Alat penukar kalor tersebut dapat berupa fluida. Kalor yang dihasilkan pada sisi panas elemen peltier akan disalurkan ke lingkungan melalui udara baik secara

konveksi paksa maupun alami atau dengan media pendingin air maupun cairan lainnya. Susunan pendingin termoelektrik dengan berbagai cara perpindahan kalor baik dari media udara, cairan dan padat dapat dilukiskan pada gambar 2.8 berikut. (Tri Purwadi, 2012).



Gambar 2.7 Susunan sistem Termoelektrik (TEC)  
 ( Sumber : <https://appliedheattransfer.wordpress.com/> )

#### 2.4 Spesifikasi Termoelektrik (TEC 12706)

Modul Termoelektrik yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah TEC 12706 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 2.1. Spesifikasi Modul TEC-12706

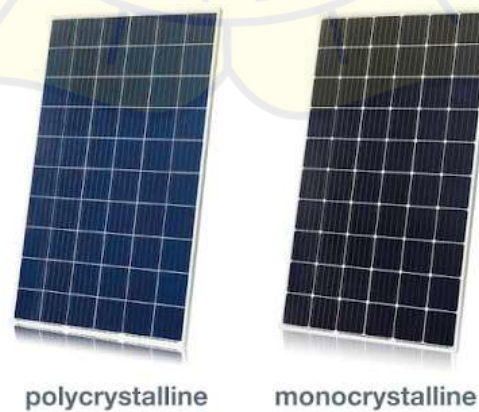
Tipe	T max (°C)	Q max (Watt)	$\Delta T$ (°C)	I max (Ampere)	V max (Volt)
TEC-12706	50 °C	57	75	6.4	16.4



Gambar 2.8 Modul Termoelektrik (TEC-12706)

## 2.5 Panel Surya (Solar Cell)

Panel surya merupakan suatu perangkat yang dapat mengubah energi matahari berupa cahaya menjadi energi listrik. Solar panel dibuat sedemikian rupa untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik menggunakan prinsip kerja *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* ini sendiri merupakan suatu fenomena munculnya tegangan listrik yang mana terjadi karena adanya kontak antara dua elektrode yang dihubungkan dengan suatu padatan atau cairan saat terkena atau mendapatkan energi dari cahaya matahari. Panel surya ini merupakan suatu kumpulan dari sel surya yang memiliki fungsi untuk menangkap sinar matahari. Selanjutnya untuk mengaktifkan rangkaian untuk menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.9 Panel Surya  
( Sumber : [www.gesainstech.com](http://www.gesainstech.com) )

## 2.6 Temperatur Kontroler W1209

W1209 adalah pengontrol termostat yang sangat fungsional. Dengan modul ini Anda dapat dengan cerdas mengontrol daya ke sebagian besar jenis perangkat listrik berdasarkan suhu yang dirasakan oleh sensor suhu NTC akurasi tinggi yang disertakan. Meskipun modul ini memiliki mikrokontroler tertanam, tidak diperlukan pengetahuan pemrograman. Tiga sakelar taktil memungkinkan untuk mengonfigurasi berbagai parameter termasuk suhu pemicu on & off. Relai terpasang dapat beralih hingga maksimum 240V AC pada 5A atau 14V DC pada 10A. Suhu saat ini ditampilkan dalam derajat Celcius melalui tampilan 3 digit tujuh segmennya dan status relai saat ini oleh LED terpasang.



Gambar 2.10 Temperatur Kontroler W1209

### **SPECIFICATION:**

Temperature Control Range: -50 ~ 110 C  
Resolution at -9.9 to 99.9: 0.1 C  
Resolution at all other temperatures: 1 C  
Measurement Accuracy: 0.1 C  
Control Accuracy: 0.1 C  
Refresh Rate: 0.5 Seconds  
Input Power (DC): 12V  
Measuring Inputs: NTC (10K 0.5%)  
Waterproof Sensor: 0.5M  
Output: 1 Channel Relay Output, Capacity: 10A

### **Power Consumption**

Static Current: <=35mA  
Current: <=65mA

### **Environmental Requirements**

Temperature: -10 ~ 60 C  
Humidity: 20-85%

## 2.7 Adaptor

Adaptor merupakan suatu perangkat yang dapat merubah listrik AC ke DC. Pengertian Adaptor adalah sebuah perangkat elektronik yang berguna untuk dapat mengubah tegangan arus AC ( arus bolak-balik ) yang tinggi menjadi DC ( arus searah ) yang rendah. Dikutip dari [wikipedia](https://id.wikipedia.org/wiki/Adaptor) pengertian adaptor adalah sebuah rangkaian yang berguna untuk mengubah tegangan AC yang tinggi menjadi DC yang rendah. Pada penelitian ini, adaptor digunakan sebagai daya listrik utama pada seluruh perangkat elektronik pendingin portable.



Gambar 2.11 Adaptor 12V

## 2.8 Baterai

Baterai (Battery) adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat Elektronik. Hampir semua perangkat elektronik yang portabel seperti Handphone, Laptop, Senter, ataupun Remote Control menggunakan Baterai sebagai sumber listriknya. Dengan adanya Baterai, kita tidak perlu menyambungkan kabel listrik untuk dapat mengaktifkan perangkat elektronik kita sehingga dapat dengan mudah dibawa kemana-mana. Dalam kehidupan kita sehari-hari, kita dapat menemui dua jenis Baterai yaitu Baterai yang hanya dapat dipakai sekali saja (Single Use) dan

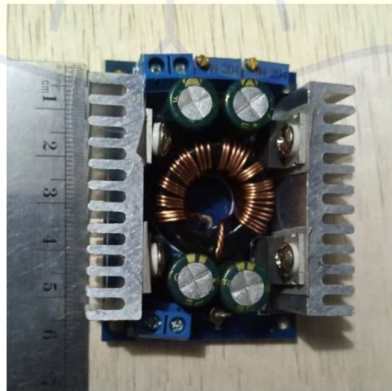
Baterai yang dapat di isi ulang (Rechargeable). Pada penelitian ini, baterai yang digunakan adalah jenis baterai yang dapat diisi ulang (Rechargeable) karena berfungsi untuk apabila pada saat alat pendingin ini dibawa pergi masih dapat digunakan karena terdapat baterai yang menyimpan energi listrik.



Gambar 2.12 Baterai 12V 10Ah  
( Sumber : <https://www.lazada.co.id/>)

## 2.9 Modul Step Up Step Down DC to DC

Pada dasarnya modul ini berfungsi untuk mengubah tegangan dengan taraf tertentu menjadi tegangan yang lebih tinggi atau secara lebih sederhana digunakan untuk menaikkan tegangan listrik dan juga sebaliknya dapat mengubah tegangan menjadi lebih rendah. Sebagai contoh, tegangan listrik DC 9v dirubah menjadi DC 24v yang berarti modul tersebut menerima tegangan listrik sebesar 12 volt DC yang kemudian dinaikkan menjadi 24volt DC tegangan listrik yang keluar dari terminal output.



Gambar 2.13 Modul Step UP & Step Down

## 2.10 Perpindahan Panas

Perpindahan kalor merupakan ilmu yang meramalkan perpindahan energi karena perbedaan suhu diantara benda atau material. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan hukum kedua termodinamika. Perkembangan ilmu fisika dari imuan *Count Rumford* (1753-1814), *Massa Chusetts*, dan *Sir James Prescott Joule* (1818-1819) melakukan percobaan bahwa aliran panas merupakan perpindahan energi dari sistem dan lingkungan. Apabila perpindahan energi terjadi pada perbedaan suhu maka hal ini disebut pengaliran panas. Perpindahan kalor terjadi pada 3 proses yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 2.10.1 Konduksi

Konduksi (hantaran) merupakan perpindahan panas pada benda padat yang terjadi apabila benda tersebut berada pada suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah. Suhu tinggi akan melepaskan kalor sehingga suhu rendah akan menerima kalor dan terjadi kesetimbangan termal. Perpindahan panas yang diusulkan oleh ilmuan Perancis *J.B.J.Fourier*, tahun 1882 yaitu laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran berikut.

- $k$ , konduksi termal
- $A$ , luas penampang melalui panas yang mengalir dengan cara konduksi
- $dT/dx$ , *gradient* suhu pada penampang yaitu perubahan suhu  $T$  terhadap jarak dalam arah aliran panas  $x$

Untuk menuliskan persamaan matematika maka harus melihat tanda (positif dan negatif). Arah x ditetapkan merupakan arah aliran positif. Menurut hukum termodinamika panas akan mengalir secara otomatis dari suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah, maka aliran panas akan menjadi positif bila *gradiennya* negatif. Maka dari persamaan diatas maka hubungan konduktivitas dapat ditulis sebagai berikut.

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

Q = laju perpindahan kalor ( J atau J/detik)

K = konduktivitas atau kehantaran termal (watt/meter)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$\frac{dT}{dx}$  = perubahan suhu terhadap perubahan posisi (°C/m atau K/m)

### 2.10.2 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal (daya hantar panas) terjadi pada fungsi suhu, dan akan bertambah sedikit saat suhu naik namun variasi kenaikan kecil dan sering diabaikan. Konduktivitas termal didefinisikan sebagai arus (negatif) per satuan luas yang tegak lurus pada aliran dan per satuan *gradient* suhu. Dapat ditulis dengan persamaan matematika sebagai berikut.

$$k = - \frac{H}{A(\frac{dT}{dx})} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

K = konduktivitas termal (watt/meter)

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

H = panas yang mengalir dari kiri ke kanan

$\frac{dT}{dx}$  = perubahan suhu terhadap perubahan posisi ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$  atau  $\text{K}/\text{m}$ )

### 2.10.3 Konveksi

Istilah konveksi merupakan perpindahan panas dari satu tempat ketempat lain akibat perpindahan bahannya sendiri. Proses konveksi adalah ketika bahan yang dipanaskan mengalir akibat perbedaan rapat massa. Konveksi yang dipaksa ketika bahan yang dipanaskan dipaksa bergerak dengan menggunakan alat peniup atau pompa. Konveksi juga dinyatakan laju perpindahan panas antara suatu permukaan dan suatu fluida sehingga menurut ilmuwan Inggris, *Isaac Newton* pada tahun 1701 perpindahan panas secara konveksi dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$q_c = hc A (T_s - T_f) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

$q_c$  = Luas perubahan panas dengan cara konveksi ( $\text{J}/\text{s}$ )

$A$  = Luas perpindahan panas ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T$  = Beda antara suhu permukaan  $T_s$  dan suhu fluida  $T_f$  ( $\text{K}$ )

$hc$  = Permukaan perpindahan panas atau koefisien perpindahan panas ( $\text{watt}/\text{m}^2$ )

### 2.10.4 Radiasi

Pancaran (emisi) energi terus-menerus dari permukaan semua benda. Energi ini dinamakan energi *radian* dan dalam bentuk gelombang elektromagnet. Gelombang ini bergerak secepat cahaya dan dapat melewati ruang hampa serta melalui udara. Energi *radian* yang dipancarkan oleh suatu permukaan, per satuan waktu dan persatuan luas, bergantung pada sifat permukaan serta suhu. Pada suhu rendah banyaknya radiasi kecil dan

panjang gelombangnya relatif panjang, sedangkan jika suhu naik banyaknya radiasi akan meningkat dengan cepat dan sebanding dengan suhu multak pangkat empat.

Fisikawan yang berasal dari Austria pada tahun 1884, *J Stefan dan L. Boltzman* menyatakan bahwa suatu benda hitam mana pun diatas suhu nol multak meradiasikan energi dengan laju yang sebanding dengan suhu multak pangkat empat. Walaupun laju pancaran (*rate of emission*) tidak tergantung pada kondisi sekitar, perpindahan bersih (*netto*) panas radiasi memerlukan adanya perbedaan suhu permukaan antara dua benda diantara pertukaran panas berlangsung. Untuk persamaan matematika dapat dilihat berikut ini.

$$q_r = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$q_r$  = Laju perpindahan panas secara radiasi (Joule/sekon)

$\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$  ) w/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>

A = Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)

T<sub>1</sub> dan T<sub>2</sub> = Perubahan suhu dari suhu 1 dan suhu 2 (K)

### 2.11 Daya Listrik

Energi listrik merupakan bentuk energi yang dihasilkan dari adanya beda potensial antara dua titik, sehingga membentuk sebuah arus listrik dan mendapatkan kerja listrik. Energi listrik dinyatakan sebagai arus listrik yang bermuatan listrik negatif atau elektron karena adanya perbedaan beda potensial. Pada tahun (1787-1854) *Georg Simon Ohm* menentukan dan melakukan eksperimen bahwa arus I pada logam sebanding dengan beda potensial V. kemudian jika pada logam atau

kawat diberikan hambatan  $R$  terhadap arus maka elektron-elektron diperlambat karena adanya interaksi dengan atom-atom. Sehingga makin tinggi hambatan, makin kecil arus  $I$  pada suatu tegangan  $V$ . Hal ini dikenal dengan hukum *Ohm*, akan tetapi banyak fisikawan menyatakan ini bukan merupakan hukum melainkan definisi hambatan. Pernyataan hukum *Ohm* apabila arus yang melalui konduktor logam sebanding dengan tegangan, akan tetapi  $R$  konstan. Hubungan antara arus, tegangan dan hambatan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

$R$  = Hamabatan ( $\Omega$ )

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (A)

Energi listrik yang diubah menjadi energi panas atau cahaya akan terjadi banyak tumbukan elektron yang bergerak dan atom pada kawat sehingga menyebabkan arus menjadi besar.

Daya merupakan suatu besaran yang penting dalam rangkaian listrik. Daya merupakan kecepatan perubahan energi. Untuk mencari daya yang diubah ke listrik maka energi yang diubah merupakan muatan  $Q$  yang bergerak melintasi beda potensial sebesar  $V$  sehingga perubahan tersebut ditulis  $Q$ . jadi persamaan matematika dalam menghitung daya ( $P$ ).

$$P = \frac{QV}{T} \dots\dots\dots(2.7)$$

Muatan yang mengalir per detik  $Qt$  yang merupakan  $I$ . Jika suatu tegangan  $V$  dikenakan ada unsur dimana di dalamnya mengalir arus ( $A$ ), sehingga daya ( $P$ ) dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$P = IV \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$P$  = Daya Listrik (Watt atau J/det)

$I$  = Arus Listrik (A)

$V$  = Beda Potensial (Volt)

### 2.12 Efisiensi

Pada mesin diperlukan beberapa perhitungan efisiensi yang berguna untuk mengetahui seberapa besar efisiensi dari mesin yang mengeluarkan panas dan kerja dari mesin itu sendiri. Efisiensi didefinisikan sebagai fraksi antara kerja yang dihasilkan dengan energi panas yang masuk ke mesin.

$$\eta = \frac{w}{Q_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$\eta$  = Efisiensi

$W$  = Kerja (J)

$Q_{input}$  = Energi Panas (J)

Jika diinterpretasikan sebagai  $\eta = 100 \%$  artinya seluruh energi panas  $Q_{input}$  seluruhnya diubah menjadi  $W$ . nilai  $\eta$  adalah antara 0 sampai 1. Semakin besar  $\eta$  maka semakin bagus mesin tersebut akan tetapi pada kenyataannya tidak ada mesin yang mengubah panas menjadi kerja seluruhnya.