

## BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Termoelektrik

Termoelektrik adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energi kalor (perbedaan temperatur) menjadi energi listrik secara langsung. Selain itu, termoelektrik juga dapat mengkonversikan energi listrik menjadi proses pompa kalor/*refrigerasi*. Teknologi termoelektrik adalah teknologi yang bekerja dengan mengkonversi 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.

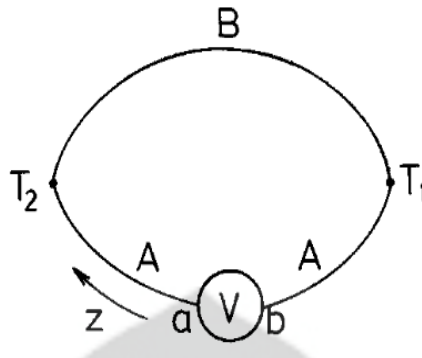
Efek utama yang digunakan adalah *efek seebeck* yang ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 dan efek peltier yang ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834. Keduanya mempunyai peranan penting dalam aplikasi praktik.

#### 2.1.1 Efek Seebeck

Pada gambar 2.1 ditunjukkan junction penghubung 1 dan 2 dari kabel logam yang terbuat dari material yang berbeda, yaitu material A dan B, dikondisikan dalam temperatur yang berbeda  $T_1$  dan  $T_2$ . Potensial  $V$  diukur dengan menggunakan voltmeter  $V$  dimasukkan ke dalam kabel A yang diberikan menurut :

$$V = (Q_A - Q_B)(T_1 - T_2) \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.1}$$

Dimana  $Q_a$  dan  $Q_b$  mewakili koefisien *seebeck* (daya termoelektrik) dari logam A dan logam B, dimensi dari  $Q$  adalah energi / (beban x temperatur). Satuan alami dari *thermopower* adalah  $V \text{ } k_B / e \approx 10^{-4} \text{ V/K}$ . Nilai  $Q$  yang umum pada logam adalah lebih rendah dari faktor 10 sampai 100, untuk semikonduktor, umumnya lebih tinggi dibandingkan faktor yang identik.



Gambar 2.1 sirkuit termoelektrik yang terbuat dari konduktor A dan B dengan temperatur junction  $T_1$  dan  $T_2$ . Z adalah koordinat sepanjang konduktor yang menggabungkan ujung a dan b dari voltmeter.

Jika sirkuit pada gambar 2.1 mengalami hubungan arus pendek dengan memindahkan voltmeter, arus listrik *stasioner* akan mengalir. Besarnya arus listrik tergantung dari rasio potensial termoelektrik yang diukur dengan voltmeter dan total hambatan dari sirkuit tanpa voltmeter. Bila nilai potensial termoelektrik ini kecil (pada logam dengan ukuran milivolt), *thermo-current* yang terjadi bisa cukup besar apabila hambatannya kecil.

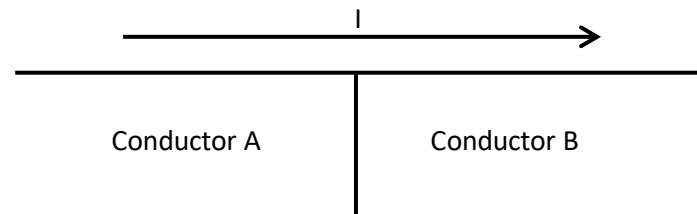
### 2.1.2 Efek Peltier

Arus listrik dengan besar  $I$  sepanjang junction dari 2 konduktor yang berbeda A dan B dengan koefisien peltier  $\Pi_A$  dan  $\Pi_B$  menghasilkan kalor dengan tingkat menurut :

$$W = (\Pi_A - \Pi_B) I \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.2}$$

Nilai negatif menandakan pendinginan dari junction. Berlawanan dengan pemanasan joule, *efek peltier* sifatnya *reversibel* dan tergantung dari arah arus listrik.

Efek peltier terjadi karena adanya arus listrik yang mempunyai arus kalor dalam konduktor homogen, yang terjadi walaupun temperatur dalam keadaan



Gambar 2.2. Pengaturan untuk mengamati efek peltier

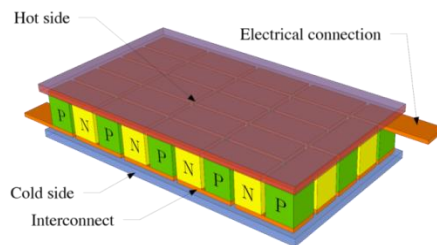
konstan. Akibat dari arus kalor menurut  $\Pi \cdot I$ . Persamaan kalor peltier adalah keseimbangan dari aliran kalor dari dan menuju interface. Arus kalor bersama arus listrik dapat dijelaskan melalui perbedaan kecepatan aliran elektron yang membawa arus listrik. Kecepatan aliran bergantung pada energi dari elektron yang mengalami konduksi. Contoh, apabila kecepatan aliran dari elektron dengan energi lebih dari potensi kimia (energi Fermi) lebih besar dari elektron dengan energi lebih rendah, arus listrik bersama arus kalor dengan arah berlawanan (karena beban listrik negatif). Dalam hal ini, koefisien peltier bernilai negatif. Situasi yang sama akan terjadi untuk  $\eta$  semikonduktor, dimana arus listrik yang dibawa oleh elektron dalam keadaan ikatan konduksi.

Koefisien Seebeck dan Peltier  $Q$  dan  $\Pi$  menurut hubungan

$$\Pi = T \cdot Q \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.3}$$

Yang sudah ditemukan oleh Lord Kelvin, tapi untuk setiap nilai derivasi yang valid hanya dapat dibuktikan setelah menggunakan teori kinetik dari konduksi elektron atau termodinamika ireversibel. Hubungan kelvin menghubungkan material untuk 2 efek fisika yang berbeda, dimana efek peltier mempunyai penjelasan yang simpel seperti yang dijelaskan diatas.

### 2.1.3 Elemen Termoelektrik



Gambar 2.3 Elemen Termoelektrik

Dari prinsip kedua efek pada termoelektrik tersebut, dapat disimpulkan apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 kutub batang logam tersebut, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi.

dibandingkan dengan sisi dingin logam. Dengan kecepatan yang lebih tinggi, maka elektron dari sisi panas akan mengalami difusi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan elektrik pada logam tersebut.

Elemen termoelektrik yang terdiri dari semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang dihubungkan dalam suatu rangkaian listrik tertutup yang terdapat beban. Maka perbedaan suhu yang ada pada tiap junction dari tiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin.

Dengan adanya perbedaan suhu pada kedua titik junction maka akan ada beda potensial diantara kedua titik tersebut, yang dapat ditentukan dengan rumus :

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} S_{AB} \cdot dT \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.4}$$

Dimana  $S_{AB}$  adalah koefisien seebeck dengan  $T_1 < T_2$ .

Efisiensi dari power generated ini dapat diukur dengan menggunakan rasio dari daya listrik ( $P_o$ ) terhadap *heat flow* ( $Q_h$ ).

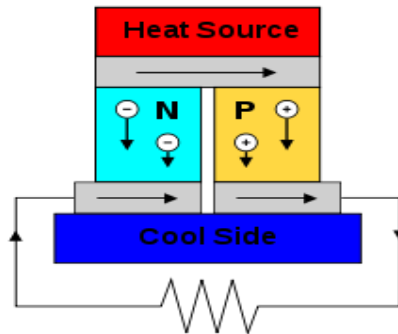
$$\eta = P_o / Q_h \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.5}$$

Sedangkan daya yang diperoleh,

$$P_o = I^2 \cdot R_o \quad \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.6}$$

Heat flow yang terjadi pada sisi panas terdiri dari tiga komponen. Heat Flow yang melalui material termoelektrik karena sifat konduktivitas dari material tersebut,  $K\Delta T$ . Panas yang *terabsorpsi* pada hot side dari termoelektrik karena efisiensi peltier, dan panas yang disebabkan oleh daya yang dihasilkan,  $I^2 R$ , dengan asumsi setengah panas masuk ke dalam sisi panas, dan setengah masuk pada sisi bagian dingin. Dan  $R$  adalah hambatan dari material termoelektrik. Arus yang melalui modul ini dapat disesuaikan dengan merubah beban dari modul tersebut.

### 2.1.4 Termoelektrik Generator



Gambar 2.4 Termoelektrik Generator

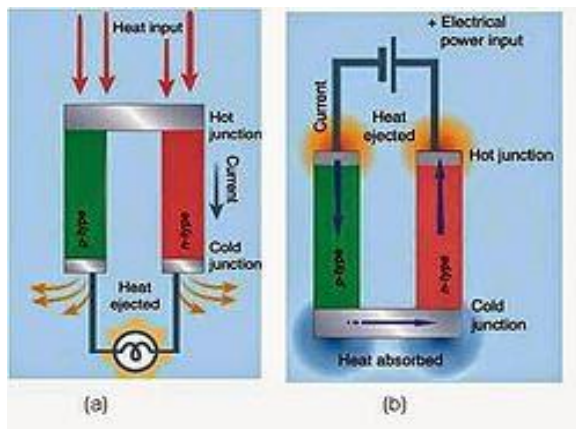
Dengandiketahui konversi langsung dari energi termal menjadi energi listrik telah diketahui kurang lebih 1 abad yang lalu, hal ini belum terlalu dapat dimanfaatkan sampai ditemukan-nya teknologi transistor dan riset ekstensif semikonduktor yang dapat memasukkan material yang diperlukan untuk pengembangan pembangkit termoelektrik sebagai sumber praktis energi listrik. Karena kebutuhan dari program antariksa Amerika Serikat ditahun 1950an dan tahun 1960an yang memutuhkan sumber energi listrik yang dapat diandalkan untuk satelit serta kendaraan antariksa. Dengan menggunakan prinsip efek seebeck, pembangkit termoelektrik (termoelektrik generator) mengubah energi termal pada elemen peltier yang ada pada termoelektrik, menjadi energi listrik. Dengan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas pada elemen termoelektrik, pada elemen ini akan mengalir arus sehingga terjadi perbedaan tegangan. Aplikasi pembangkit termoelektrik digunakan secara luas, terutama dalam berbagai hal yang menggunakan sumber panas sebagai penghasil listrik. Sistem gas buang kendaraan, burner dan furnace adalah beberapa contoh dari aplikasi pembangkit termoelektrik. Secara umum, beberapa material pembangkit termoelektrik yang telah diproduksi menggunakan :

1. Silicon Germanium
2. Lead Telluride
3. Bismuth Telluride alloys

Ketiga material ini terbagi berdasarkan temperatur kerjanya. Untuk material Silicon Germanium, temperatur kerja paling tinggi diantara 2 material lainnya. Material ini dapat menyerap panas dalam range temperatur 750C sampai 1000C. Material ini dapat menyerap beda potensial yang lebih

tinggi dari material termoelektrik lainnya. Kekurangan dari material ini adalah tingginya harga, sehingga menaikkan ongkos produksinya. Material Lead Telluride merupakan material dengan temperatur kerja menengah, dibawah material Silicon Germanium, dan diatas temperatur kerja Bismuth Telluride alloys. Material ini mempunyai temperatur kerja dengan rentang antara 400C – 650C. Material yang paling umum digunakan dalam elemen termoelektrik adalah material Bismuth Telluride Alloys.

Dengan rentang temperatur kerja hingga 350C, material ini umum dipakai sebagai elemen pendingin pada aplikasi pendinginan, atau kombinasi pendinginan dan pemanasan dengan adanya perbedaan temperatur yang membuat timbulnya daya listrik. dibandingkan dengan dua material yang lain, daya keluaran serta efisiensi pembangkitan bismuth telluride lebih kecil, tetapi dengan tersedianya sumber termal, daya yang diinginkan akan dapat tercapai. Modul pembangkit termoelektrik mempunyai bentuk dasar dengan dua jenis, antara lain linear shape module (bisa dibentuk sesuai penempatannya) dengan biaya produksi yang lebih tinggi dan umumnya memerlukan pesanan dengan spesifikasi khusus. Dan Traditional square module yang dijual secara umum dengan bentuk persegi.



Gambar 2.5 Karakteristik Thermoelektrik

Karakteristik dari elemen termoelektrik adalah internal resistance ( $\rho$ ), thermal conductivity ( $\gamma$ ) dan termoelektrik power ( $\alpha$ ), yang merupakan hubungan kecepatan perpindahan elektron valensi pada dua material. Kalor yang dilepaskan pada sisi dingin sebanding dengan suhu absolut pada sisi tersebut dan sebanding dengan jumlah elektron yang dipindahkan. Jika kedua sisi elemen peltier mempunyai suhu yang berbeda, sejumlah kalor akan

berpindah dari sisi panas menuju sisi dingin. Hal ini dapat menyebabkan power loss. Oleh karena itu power loss ini harus dapat dikurangi dengan mengurangi heat capacity dalam peltier. Dapat dikatakan bahwa, kalor yang dipancarkan oleh sisi panas adalah jumlah dari kalor yang diserap oleh sisi dingin dan electrical power loss. Heat flow yang dibutuhkan pada sisi panas

$$Q_{hot} = \alpha(T_{hot}) \cdot I \cdot T_{hot} - (\rho/2) \cdot I^2 + k(T_{hot} - T_{cold}) \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.7}$$

Arus yang dapat dihasilkan,

$$I = \frac{\alpha A d T}{2 \rho L} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.8}$$

Tegangan yang dapat dibangkitkan

$$V = \alpha(T_{hot}) T_{hot} - \alpha(T_{cold}) T_{cold} - I \rho \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.9}$$

Daya yang dapat dihasilkan

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.10}$$

Temperatur kerja efektif

$$T_{HOT} = T_{hot} - R_{th,hot} \cdot Q_{hot} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.11}$$

$$T_{COLD} = T_{cold} + R_{th,cold} (Q_{hot} - P) \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.12}$$

Nilai rata-rata electric resistance

$$\dot{\rho} = \frac{\int_{T_{cold}}^{T_{hot}} \frac{\rho(T)}{k(T)} \cdot dT}{\int_{T_{cold}}^{T_{hot}} \frac{1}{k(T)} \cdot dT} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.13}$$

Nilai rata-rata thermal conduction

$$\dot{k} = \frac{\int_{T_{cold}}^{T_{hot}} \frac{1}{k(T)} \cdot dT}{\int_{T_{cold}}^{T_{hot}} \frac{1}{k(T)^2} \cdot dT} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.14}$$

Keterangan:

- $T_{hot}$  : suhu absolute pada sisi panas  
 $R_{th,hot}$  : Thermal resistance pada sisi panas (lapisan keramik, thermal compound, dan lain-lain)  
 $\dot{T}_{hot}$  : Suhu efektif pada sisi panas  
 $T_{cold}$  : Suhu absolut dari sisi dingin  
 $R_{th,cold}$  : Thermal resistance pada sisi dingin (lapisan keramik, thermal compound, heatsink, dan lain-lain)  
 $\dot{T}_{cold}$  : Suhu efektif pada sisi dingin  
 $Q_{hot}$  : Heat flow yang dibutuhkan pada sisi panas  
 $V$  : Tegangan yang dibangkitkan oleh elemen  
 $I$  : Arus yang mengalir dalam elemen  
 $A$  : Luas modul elemen  
 $L$  : Panjang elemen  
 $P$  : Daya yang dihasilkan oleh elemen  
 $\alpha(T)$  : corrected thermal force  
 $\rho(T)$  : corrected electrical resistance  
 $\kappa(T)$  : corrected thermal conduction  
 $\rho$  : effective electrical resistance of the element  
 $k$  : effective thermal conduction of the element

Modul pembangkit termoelektrik tersusun dari dua lapisan keramik pada sisi paling luarnya yang berfungsi sebagai insulator listrik, dengan lapisan yang berbentuk seperti wafer. Sisi luar pada modul pembangkit termoelektrik berguna sebagai medium perpindahan kalor. Setelah sisi luar keramik, terdapat konduktor listrik pada lapisan bawahnya yang menggunakan material tembaga atau timah, material ini berfungsi sebagai penghubung antara kedua semikonduktor tipe-p dan tipe-n, yang terdapat pada lapisan dibawahnya lagi, yang tersusun secara bergantian. sesuai dengankarakteristik yang dipunyai oleh elemen termoelektrik yang dijelaskan sebelumnya, dimana internal resistance atau tahanan dalam dari elemen peltier/element termoelektrik adalah tahanan listrik dalam peltier. Kemudian thermal conductivity atau konduktivitas termal adalah perpindahan kalor yang terjadi pada material yang satu dengan yang lain dalam elemen termoelektrik.

### 2.1.5 Efisiensi Termoelektrik Generator (pembangkit termoelektrik)

Dalam pembangkitan daya, efisiensi karnot digunakan sebagai parameter energi, efisiensi karnot merupakan efisiensi dengan perhitungan teoritis, dianggap sebagai keadaan yang paling ideal, maka suatu mesin akan



mempunyai efisiensi karnot sebesar 100%. Berbeda dengan efisiensi termal yang hampir selalu lebih kecil dari efisiensi karnot ideal. Dalam hukum kedua termodinamika, yang menyatakan tidak semua kalor dalam suatu mesin kalor akan dapat digunakan untuk melakukan kerja, efisiensi karnot menetapkan nilai batas pada fraksi kalor yang dapat digunakan.

Dibandingkan dengan perangkat pembangkit daya yang lain, efisiensi dari elemen peltier masih rendah, dengan tingkat efisiensi hanya sekitar 5-8% sementara pembangkit daya dengan siklus Rankine, seperti turbin gas, memiliki efisiensi karnot sebesar 30%, pembangkit diesel atau motor bakar memiliki efisiensi sekitar 10-15%, dengan power chip sebagai acuan efisiensi yang cukup baik sekitar 70-80%.

## 2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

### 2.2.1 Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut Persamaan Dasar Konduksi :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.15}$$

Keterangan :

$q$  = Laju Perpindahan Panas (kj / det, W)

$k$  = Konduktifitas Termal (W/m.°C)

$A$  = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

$dT$  = Perbedaan Temperatur ( °C, °F )

$dX$  = Perbedaan Jarak (m / det)

$\Delta T$  = Perubahan Suhu ( °C, °F )

$dT/dx$  = gradient temperatur ke arah perpindahan kalor.

Konstanta positif "k" disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur.

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradient yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum fourier. Dalam penerapan hukum *Fourier* pada suatu dinding datar, jika persamaan tersebut diintegrasikan maka akan didapatkan :

### 2.2.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan

$$q_k = - \frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.16}$$

konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).

Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir didalam saluran tertutup merupakan contoh proses perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan

$$q = -hA(T_w - T_\infty) \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.17}$$

Keterangan :

$q$  = Laju Perpindahan Panas ( kj/det atau W )

$h$  = Koefisien perpindahan Panas Konveksi ( W / m<sup>2</sup> . °C )

$A$  = Luas Bidang Permukaan Perpindahan Panas ( ft<sup>2</sup> , m<sup>2</sup> )

$T_w$  = Temperature Dinding ( °C , K )

$T_\infty$  = Temperature Sekeliling ( °C , K )

Tanda minus ( - ) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif ( + ).

### 2.2.3 Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut.

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan. Sedangkan besarnya energi :

$$q_r = \sigma AT^4 \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.18}$$

dimana :

$Q_{\text{pancaran}}$  = laju perpindahan panas ( W )

$\sigma$  = konstanta boltzman (5,669.10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup> )

$A$  = luas permukaan benda (m<sup>2</sup> )

$T$  = suhu absolut benda ( °C )

### 2.3 Heatsink

Dalam banyak aplikasi elektronik, temperatur menjadi faktor utama dalam mendesain sebuah sistem. Pergantian dan perpindahan panas secara konduksi dapat menyebabkan meningkatnya temperatur maximum sambungan ( $T_{jmax}$ ) pada peralatan semikonduktor dan menyebabkan kegagalan performa, rusak, dan hal terburuknya adalah terbakar. Bagaimanapun temperatur pada alat harus diperhitungkan jangan sampai

melewati temperatur maximum sambungan. Untuk mendesain manajemen panas yang baik diusahakan agar temperatur berada pada temperatur operasi terendah.

Dengan bertambahnya disipasi panas pada peralatan mikroelektronik dan reduksi panas dari berbagai faktor. Manajemen panas menjadi hal yang sangat penting dalam mendesain sebuah peralatan elektronik. Dalam hal performa dan juga lama waktu aktif dari peralatan elektronik berbanding terbalik dengan temperatur komponen elektronik pada peralatan. Dengan mengatur temperatur operasi alat disekitar batas yang sudah ditentukan oleh pabrikan dapat memperpanjang penggunaan dari sebuah komponen dan mempertahankan performanya.

Heatsink adalah material yang dapat menyerap dan mendisipasi panas dari suatu tempat yang bersentuhan dengan sumber panas dan membuangnya, dengan mentransfer panas yang dihasilkan oleh peralatan elektronik atau peralatan mekanikal ke pada pendingin yang ada disekitar, dan sering kali pendingin ini adalah udara bebas. Setelah panas ditransfer ke pendingin meninggalkan alat, hal ini memungkinkan temperatur pada alat kembali ke pada suhu standar. Pada komputer heatsink digunakan untuk mendinginkan CPU (Central Processing Unit) atau Graphic Processor. Pada komponen elektronik heatsink digunakan oleh semikonduktor daya tinggi seperti transistor daya dan optoelektronik seperti laser, dimana ketika kemampuan menyerap panas oleh peralatan tersebut tidak lagi mampu menahan panas yang dihasilkan oleh alat selama alat bekerja. Teknologi pendingin ini ditemukan oleh Daniel L Thomas pada tahun 1982.

Heatsink didesain untuk memaksimalkan area permukaan yang mengenai medium pendingin disekitar heatsink, seperti halnya udara. Kecepatan udara, pemilihan material, model permukaan yang menonjol dan bentuk permukaan adalah faktor utama yang mempengaruhi kinerja heatsink. Metode penambahan heatsink dan panas dari material penghubung juga mempengaruhi temperatur operasi maksimum IC (Integrated Circuit). Heatsink mentransfer energi panas dari alat yang bernenergi panas tinggi ke medium gas atau cairan dengan panas yang lebih rendah. Medium yang sering digunakan adalah udara bebas, terkadang air, atau refrigerant (freon).

Heatsink dapat diaplikasikan pada beberapa jenis pendingin, sehingga performa dari heatsink sendiri berbeda tergantung pada tambahan pendingin yang menyertainya, jika medium pendingin berupa air maka heatsink sering disebut dengan plat pendingin. Dalam termodinamika heatsink adalah sebuah penyimpan panas yang dapat menyerap panas tanpa mengubah suhu. Dalam penggunaannya heatsink alat elektronik memiliki panas yang lebih tinggi dari

---

pada sekitar untuk mentransfer panas secara *konveksi*, *radiasi* dan *konduksi*. *Power Supply* pada peralatan elektronik tidak 100% efisien menghasilkan energi, jadi akan timbul panas yang akan mengganggu kinerja dari pada alat. Heatsink kadang dimasukkan dalam sebuah rangkaian untuk mengurangi panas agar meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

Untuk mengetahui cara kerja heatsink, kita harus tahu bahwa energi panas adalah sebuah respon dari sebuah proses sebuah arus listrik melewati suatu benda atau hambatan panas akan dihasilkan, nilai panas tersebut setara dengan nilai tegangan jatuh. Dan kita harus mengetahui jenis bahan yang digunakan dan juga hambatan termal . Sifat dari hambatan termal sama seperti hambatan listrik, semakin tinggi nilai panas makan semakin tinggi pula nilai hambatan termal pada benda atau hambatan tersebut. Hal ini menyerupai hukum ohm adalah :

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.19}$$

Jika kita masukkan keterangan diatas, bahwa jika panas meningkat maka nilai hambatan panas akan naik dan akan terjadi nilai tegangan jatuh, maka

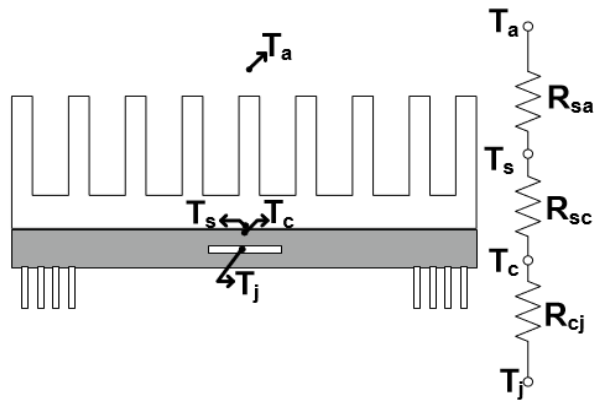
$$R^{TH} = \frac{dV}{I} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.20}$$

Dimana  $dV/I$  adalah jatuh daya ( $dP$ ), jika kita rumuskan maka :

$$\Delta T = dP \cdot R^{TH} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.21}$$

Dimana :

- $\Delta T$  : beda temperatur
- $dP$  : jatuh daya
- $R^{TH}$  : hambatan termal



Dimana :

- $T_a$  = suhu udara disekitar
  - $T_s$  = suhu pada heatsink
  - $T_c$  = suhu pada casing komponen
  - $T_j$  = suhu pada persambungan
  - $R_{sa}$  = hambatan termal pada heatsink dengan udara sekitar
  - $R_{cs}$  = hambatan termal pada casing dengan heatsink
  - $R_{cj}$  = hambatan termal pada persambungan dengan casing
- Maka  $R^{TH}$  adalah total dari hambatan termal yang bekerja pada sistem

$$R^{TH} = R^{JA} = R^{jc} + R^{cs} + R^{sa} = \frac{T^j - T^A}{Q} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.22}$$

Sebuah *heatsink* dirancang untuk meningkatkan luas kontak permukaan dengan fluida disekitarnya, seperti udara. Kecepatan udara pada lingkungan sekitar, pemilihan material, desain sirip (atau bentuk lainnya) dan surface treatment adalah beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan thermal dari heatsink. Thermal adhesive (juga dikenal dengan thermal grease) ditambahkan pada dasar permukaan heatsink agar tidak ada udara yang terjebak di antara heatsink dengan bagian yang akan diserap panasnya.

Ada beberapa karakteristik *heatsink* :

1. Luas area heatsink akan menyebabkan disipasi panas menjadi lebih baik karena akan memperluas area pendinginan yang dapat mempercepat proses pendinginan yang dapat mempercepat proses pembuangan panas yang diserap oleh *heatsink*.

2. Bentuk *aerodinamik* yang baik dapat mempermudah aliran udara panas agar cepat dikeluarkan melalui sirip-sirip pendingin. Khususnya pada heatsink dengan jumlah sirip banyak tetapi dengan jarak antara sirip berdekatan akan membuat
3. aliran udara tidak sempurna sehingga perlu ditambahkan sebuah kipas untuk memperlancar aliran udara pada jenis heatsink tersebut
4. Transfer panas yang baik pada setiap heatsink juga akan mempermudah pelepasan panas dari sumber panas ke bagian sirip-sirip pendingin. Desain sirip yang tipis memiliki konduktivitas yang lebih baik.
5. Desain permukaan dasar heatsink sampai pada tingkat kedataran yang tinggi sehingga dapat menyentuh permukaan sumber panas lebih baik dan merata.

Hal ini dapat menyebabkan penyerapan panas lebih baik, tetapi untuk menghindari resistansi dengan sumber panas heatsink tetap harus menggunakan suatu pasta atau thermal compound agar permukaan sentuh juga lebih merata. Karena heatsink terdiri dari plat dasar dan sejumlah sirip, maka daya total yang mampu diserap heatsink dinyatakan dengan rumus:

$$P = h[N \cdot \eta \cdot A^f + (A^t - N \cdot A^f)] \Delta T \dots\dots\dots \text{Persamaan 2.23}$$

Dengan :

$A^t$  : luas *heatsink*

$A^f$  : luas permukaan tiap sirip

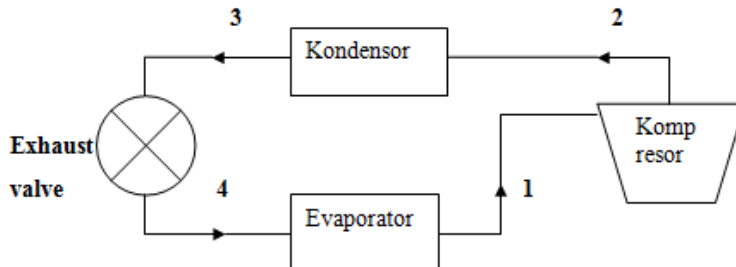
$N$  : jumlah sirip

$\Delta T$  : beda suhu dasar dengan lingkungan

$H$  : koefisien konveksi

$\eta$  : efisiensi sirip

## 2.4 Siklus Sistem Refrigerasi



Gambar 2.6 Sistem siklus refrigerasi

Siklus yang dipakai didalam mesin pengkondisian udara adalah siklus uap standart (Standart Vapore Comperession Cycle). seperti pada diagram hubungan antara tekanan dan enthalpi. Enthalpi merupakan proses dengan tekanan dan meniadakan kerja yang dilakukan terhadap bahan. Sedangkan perubahan enthalpi merupakan jumlah kalor yang ditambahkan atau diambil persatuan massa melalui proses tekanan yang konstan.

- Proses 1 – 2 (*Kompresi*)

Proses kompresi dari uap jenuh menjadi uap panas lanjut secara reversible adiabatic reversible (isentropic), proses ini terjadi pada kompresor sehingga garis entropy konstan

- Proses 2 – 3 (*Kondensasi*)

Proses pengembunan atau pelepasan panas yang terjadi pada kondensor dari panas lanjut menjadi cair jenuh. Cairan refrigerant yang bertekanan dapat di salurkan pada katup ekspansi

- Proses 3 – 4 (*Ekspansi*)

Proses Ekspansi dari cairan jenuh hingga menjadi cairan dan gas. Proses ini terjadi didalam katup ekspansi.

- Proses 4 – 1 (*Evaporasi*)

Proses penyerapan panas dari udara luar yang terjadi pada evaporator digunakan oleh refrigerant untuk mengubah dari campuran cairan dan gas menjadi uap jenuh dan tekanan konstan. Gas yang ada didalam kompresor dikompresi mengalami hambatan terutama pada waktu melalui katub isap dan katub buang.



### 2.4.1 Komponen – komponen utama mesin pendingin

Mesin pendingin adalah suatu rangkaian yang mampu bekerja untuk menghasilkan suhu atau temperatur dingin. Berikut komponen utama mesin pendingin :

#### 1. Kompresor

Apabila gas refrigerant dihisap masuk dan dikompresikan silinder kompresor mesin refrigerasi, perubahan tekanan refrigerasi terjadi sesuai dengan perubahan volume yang diakibatkan oleh jarak torak di dalam silinder tersebut.

#### 2. Kondensor

Kondensor adalah alat penukar panas yang fungsinya adalah untuk mencairkan freon. Alat ini melepaskan panas dari kompresi dan merubah gas yang bersuhu tinggi menjadi cairan yang bertekanan tinggi. Pada keadaan normal bagian atas kondensor penuh dengan gas panas dan bagian bawah campuran gas dan cairan panas yang sebagian cairan disimpan didalam reservoir dan sebagian lagi diedarkan menuju katup ekspansi.

#### 3. Katup Ekspansi

Katup ini fungsinya mengontrol freon ke evaporator. Pada katup ini dikontrol oleh temperatur sensor pada outlet evaporator. Jika suhu outlet terlalu tinggi ini berarti cukup freon yang masuk kedalam evaporator dan pendinginan ruangan kurang baik. Jika outlet terlalu rendah ini berarti banyak freon yang masuk dari evaporator fins mungkin penuh dengan bunga es. Dalam hal ini temperatur sensor mengontrol pembukaan atau penutupan katup ekspansi untuk mencapai tingkat aliran yang tetap suhu outlet evaporator.

#### 4. Evaporator

Evaporator merupakan komponen terakhir pada siklus pendinginan, dimana akhirnya sampai kepada udara dingin. Pada kebanyakan evaporator refrigerant sebagai fluida didalam pipa – pipa dan mendinginkan udara yang dihembuskan oleh fan diluar pipa tersebut. Evaporator yang di inginkan disebut evaporator ekspansi langsung. Refrigerant cair masuk kedalam pipa yang mempunyai sirip – sirip didalamnya untuk menaikkan hantaran pada refrigerant. Evaporator ekspansi langsung digunakan pada pengkondisian udara biasanya *display* oleh katub ekspansi yang mengatur aliran cairan sedemikian sehingga uap refrigerant meninggalkan evaporator.