

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Observasi terhadap mesin pendingin makanan dan minuman tanpa freon dan mencari referensi dari beberapa sumber yang berkaitan dengan judul yang di ambil. Berikut beberapa referensi yang berkaitan dengan judul penelitian yaitu sebagai berikut :

1. Jurnal yang ditulis oleh Simon Lineykin dan Shmul Ben-Yaakov yang berjudul “*Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules*” yang ditulis pada tahun 2017. Penelitian ini membahas tentang perhitungan kinerja dari *thermoelectric peltier*.
2. Penelitian yang berbentuk skripsi yang ditulis oleh Deddy Reza Dwi P yang berjudul “Perhitungan *Heat Rate Heatsink* Pada Sisi Panas *Thermoelectric TEC12706* Pada Daya 22,4 Watt”. Penelitian ini membahas tentang kinerja *thermoelectric peltier* pada daya 12 Volt 5 Ampere untuk mendinginkan box pendingin dengan tujuan untuk mencari *heat rate* pada sisi panas *peltier* TEC12706.
3. Jurnal yang ditulis oleh Joessianto Eko Poetro dan Catur Rakhmad Handoko pada tahun 2013 dengan judul “Analisis Kinerja Sistem Pendingin Arus Searah Yang Menggunakan *Heatsink* Jenis *Extruded* Dibandingkan Dengan *Heatsink* Jenis *Slot*”. Penelitian ini membahas tentang perbandingan kinerja dari *heatsink* jenis *extruded* dengan jenis slot yang kinerjanya digunakan pada

sistem pendingin yang menggunakan komponen *peltier* sebagai pompa kalornya.

Dari tiga *literature review* yang ada, telah banyak penelitian mengenai kinerja dari sistem pendingin menggunakan *peltier*. Namun pada *literature review* yang telah disebutkan di atas belum terdapat tata cara dalam pembuatan mesin pendingin secara rinci. Untuk menindak lanjuti beberapa penelitian yang telah ada, maka penulis melakukan penelitian perihal “Pembuatan Dan Analisa Kinerja Dari Mesin Pendingin Makanan Dan Minuman Tanpa Freon Menggunakan Thermoelectric Peltier TEC1-12706”.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Dasar Dasar Kelistrikan

Suatu benda jika dibagi sampai bagian terkecilnya tanpa meninggalkan sifat aslinya maka akan didapat partikel yang disebut molekul. Kemudian jika molekul dibagi maka akan didapatkan bahwa molekul terdiri dari beberapa atom (New Step 1, 1995, 2-1).

Semua atom terdiri dari inti yang dikelilingi oleh partikel partikel yang sangat tipis, yang biasa disebut elektron-elektron. Inti sendiri terdiri dari proton dan neutron dalam jumlah yang sama (kecuali atom hidrogen yang kekurangan jumlah neutron). Proton dan elektron mempunyai suatu hal yang sama yaitu muatan listrik (*electrical charge*). Muatan listrik pada proton diberi muatan muatan (+) sedangkan listrik pada electron diberi muatan (-) sedangkan neutron sendiri tidak bermuatan (netral).

Elektron-elektron yang orbitnya paling jauh dari inti disebut valence elektron. Karena elektron yang mempunyai orbit paling jauh dari inti gaya tarik menariknya lemah, maka elektron ini mempunyai gaya keluar dari orbitnya dan berpindah ke atom lain. Dengan demikian elektron ini disebut elektron bebas. Berbagai karakteristik dan macam aksi kelistrikan seperti loncatan bunga api, pembangkitan panas, reaksi kimia atau aksi magnet dapat terjadi karena adanya aliran listrik, hal ini disebabkan adanya electron bebas (New Step 1, 1995, 2-2).

2.2.1.a. Arus Listrik

Arus listrik dinyatakan dengan I (*Intensity*) sedangkan besar arus listrik dinyatakan dengan satuan ampere, disingkat A. Satu ampere A sama dengan pergerakan $6,25 \times 10^{18}$ elektron bebas yang melewati konduktor setiap detik (New Step, 1995, 2-4).

2.2.1.b. Tegangan Listrik

Tegangan listrik disebut dengan perbedaan potensial atau biasa disebut *voltage* (kadang-kadang juga disebut dengan *electromotive force* atau AMF). (New Step 1, 1995, 2-5)

Satuan tegangan listrik dinyatakan dengan “VOLT” dengan simbol V. Satu volt adalah tegangan listrik atau potensial listrik yang dapat mengalirkan arus listrik sebesar 1 ampere pada konduktor dengan tahanan 1 ohm.

2.2.1.c. Hambatan Listrik

Bila arus listrik melalui sebuah benda, elektron bebas tidak dapat bergerak maju dengan leluasa karena elektron akan tertahan atom-atom yang dibentuk oleh benda tersebut. Derajat kesulitan dari elektron untuk bergerak lewat benda tersebut (yaitu derajat kesulitan dari arus listrik dapat mengalir melalui material tersebut), disebut dengan tahanan listrik (New Step 1,1995, 2-7).

Tahanan listrik dinyatakan dengan huruf R, dan diukur dengan satuan OHM dengan simbol Ω =omega. Satu ohm adalah tahanan listrik yang mampu menahan arus listrik yang mengalir sebesar satu ampere dengan tegangan satu volt.

2.2.1.d. Hukum Ohm

Bila tegangan diberikan pada sirkuit kelistrikan, maka arus akan mengalir ke sirkuit. Ukuran arus yang mengalir akan berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan tahanan. Hukum Ohm dinyatakan sebagai berikut :

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

Dimana

I = Arus listrik yang mengalir pada sirkuit (A)

V = Tegangan listrik (V)

R = Tahanan pada sirkuit (Ω)

2.2.1.e. Rangkaian Seri

Bila dua atau lebih lampu (tahanan R_1 dan R_2 dsb) dirangkai dalam satu sirkuit, hanya ada satu jalur dimana arus dapat mengalir. Tipe penyambungan

seperti ini, disebut rangkaian seri. Besar arus listrik yang mengalir selalu sama pada tiap tempat atau titik pada rangkaian seri. Tahanan kombinasi R_O pada sirkuit adalah sama dengan jumlah dari masing-masing tahanan R_1 dan R_2 .

$$R_O = R_1 + R_2 \quad (2.2)$$

Selanjutnya, kuat arus listrik I yang mengalir pada sirkuit dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{V}{R_O} = \frac{V}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

2.2.1.f. Penurunan Tegangan

Bila arus listrik mengalir di dalam sebuah sirkuit, dengan adanya tahanan listrik di dalam sirkuit akan menyebabkan tegangan turun setelah melewati tahanan. Besarnya perubahan tegangan dengan adanya tahanan disebut dengan penurunan tegangan.

Bila arus I mengalir pada sirkuit, penurunan tegangan V_1 dan V_2 setelah melewati R_1 dan R_2 dapat dihitung dengan hukum Ohm (besar arus I adalah sama dengan pada R_1 dan R_2 karena dirangkaiakan secara seri).

2.2.1.g. Rangkaian Paralel

Pada rangkaian paralel, dua atau lebih tahanan (R_1 , R_2 , dst) dihubungkan di dalam sirkuit, salah satu dari setiap ujung *resistance* dihubungkan ke bagian yang bertegangan tinggi (positif) dari sirkuit dan ujung lainnya dihubungkan ke bagian yang lebih rendah (negatif). Tahanan R_O (kombinasi tahanan R_1 dan R_2) pada rangkaian paralel dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.4)$$

2.2.1.h. Tenaga Listrik (*Electrical Power*)

Bila arus listrik mengalir ke dalam suatu sirkuit, energi listrik dirubah dalam bentuk panas, energi radiasi (sinar), energi mekanis dan sebagainya ke dalam beberapa bentuk kerja.

Bila tegangan 12 V diberikan (dihubungkan ke sebuah lampu dengan tahanan 12 Ω , maka arus sebesar 1 A akan mengalir dan menyalakan lampu. Hal ini disebabkan energi listrik (yang diberikan dari baterai) dirubah ke dalam bentuk energi panas pada filament lampu dan menghasilkan sinar, sehingga filament akan menyala disebabkan oleh kerja listrik. Jumlah kerja yang dilakukan oleh listrik ini dalam satuan waktu (missal 1 detik) disebut dengan daya listrik dengan simbol P (Power) dan diukur dalam satuan Watt (W).

Dengan mengumpamakan tegangan (V) dihubungkan ke lampu dan arus I akan mengalir ke lampu tersebut, maka akan didapatkan suatu hubungan atau rumus yang menyatakan daya listrik P pada lampu tersebut :

$$P = V \times I \quad (2.5)$$

Dengan kata lain, 1 W adalah didefinisikan sebagai daya listrik yang diburuhkan bila tegangan 1 V dihubungkan ke lampu dan arus 1 A mengalir melalui lampu tersebut (New Step 1,1995, 2-16).

Untuk satuan daya listrik yang sangat kecil ataupun sangat besar, lihat di tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Tabel satuan tenaga listrik

Sumber: New Step 1,1995; 2-16)

	Satuan Dasar	Daya Kecil	Daya Besar	
Simbol	W	mW	kW	MW
Dibaca	WATT	MILIWATT	KILOWATT	MEGAWATT
Perkalian	1	1×10^{-3}	1×10^3	1×10^6

2.2.1.i. Kerja Listrik

Jumlah kerja yang dilakukan oleh listrik disebut sebagai kerja listrik. Simbol W (jangan diartikan sama dengan “W” singkatan dari “watt”) digunakan untuk menyatakan kerja listrik, yang dihitung dalam satuan watt detik (Ws). Jumlah energi listrik W yang digunakan dapat ditentukan sebagai berikut bila tenaga listrik P dipergunakan untuk beberapa waktu t.

$$W = P \times t \quad (2.6)$$

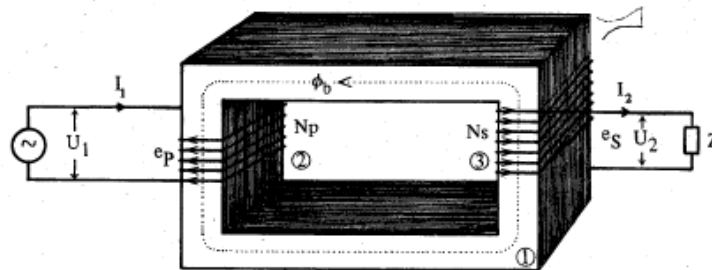
Selain satuan watt detik (Ws) digunakan juga satuan:

Wh = Watt jam, adalah energi listrik yang digunakan bila daya listrik 1 W berlangsung selama 1 jam

kWh = Kilowatt jam, adalah energi listrik yang digunakan bila daya listrik 1 Kw berlangsung selama 1 jam (Satuan ini digunakan untuk mengitung rekening listrik PLN).

2.2.1.j. *Transformator*

Transformator adalah suatu alat untuk memindahkan daya listrik bolak-balik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya secara induksi elektro magnetis (Sumanta, 1991; 1). Dasar fisika dari cara bekerjanya transformator itu dapat dicari dalam hukum induksi Faraday yang mengatakan bahwa pada perubahan arus magnetis melalui pipa penghantar dalam pita ini timbul arus listrik yang sebanding dengan kecepatan perubahannya (arus induksi, teganga induksi).



Gambar 2.1 Bagian-bagian *transformator*

PENJELASAN :

1. Inti.
2. Gulungan primer, dihubungkan dengan sumber listrik.
3. Gulungan sekunder, dihubungkan dengan beban.

2.2.1.k. *Heatsink*

Heatsink adalah material yang dapat menyerap dan mendisipasi panas dari suatu tempat yang bersentuhan dengan sumber panas dan membuangnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar Heatsink digunakan pada beberapa teknologi pendingin seperti refrigerasi, *air conditioning*, dan radiator pada mobil.



Gambar 2.2 *Heatsink* tipe extrude

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.

2.2.2. Panas

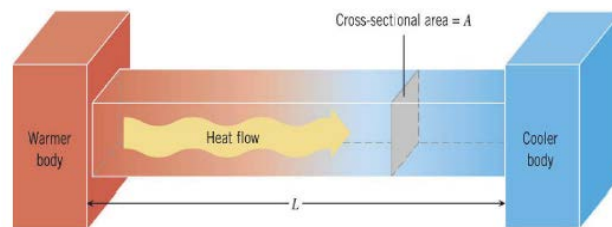
Panas merupakan suatu bentuk energi. Panas memiliki kaitan erat dengan getaran atau gerakan molekul. Molekul adalah bagian atau partikel dari suatu benda. Apabila benda dipanaskan molekul akan bergerak cepat sedangkan apabila didinginkan molekul akan bergerak lemah.

Jika panas diambil dari suatu benda maka temperatur benda itu akan turun. Makin banyak panas yang diambil temperatur benda menjadi makin rendah, tetapi setelah mencapai -273°C maka panas itu tidak dapat lagi dikeluarkan dengan perkataan lain temperatur tersebut adalah yang terendah yang tidak dapat dicapai

dengan cara apapun. Karena itu maka temperatur -273°C dikatakan sebagai nol absolute dan didalam dunia ilmu dikenal sebagai 0°K (Dirja, 2014; 6).

2.2.2.a. Perpindahan Panas Secara Konduksi

Perpindahan panas konduksi, dimana proses perpindahan panas terjadi antara benda atau partikel-partikel yang berkontak langsung melekat satu dengan yang lainnya, tidak ada pergerakan relatif diantara benda-benda tersebut (Haryadi, 2012; 5). Misalnya panas yang berpindah di dalam sebuah batang logam akibat pemanasan salah satu ujungnya seperti terlihat pada gambar 2.3, ujung A menjadi naik temperaturnya walaupun yang dipanasi ujungnya adalah ujung B. Gambar 2.3 menunjukkan prinsip dari laju perpindahan panas konduksi pada dinding pelat.



Gambar 2.3 Proses perpindahan panas konduksi

Panas mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan panas dinyatakan dengan hukum Fourier (Ted. J. Jensen, 1995; 8).

$$q_k = k \frac{A}{L} (T_1 - T_2) \quad (2.7)$$

Dimana :

q_k = laju konduksi yang berpindah (W)

A = luas penampang bidang (m^2)

L = tebal dinding (m)

k = konduktivitas thermal (W/mK)

T = temperatur ($^{\circ}\text{K}$)

Untuk mencari perpindahan panas secara konduksi pada bidang yang terdiri dari tiga lapisan dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$q \text{ konduksi} = \frac{(T_1 - T_3)}{\frac{L_1}{k_1 A_1} + \frac{L_2}{k_2 A_2} + \frac{L_3}{k_3 A_3}}$$

Dimana :

T₁ = suhu permukaan paling luar (K)

T₃ = suhu permukaan paling dalam (K)

L₁ = tebal permukaan pada lapisan 1 (m)

L₂ = tebal permukaan pada lapisan 2 (m)

L₃ = tebal permukaan pada lapisan 3 (m)

k₁ = koefisien konduktivitas termal material 1 (W/m.K)

k₂ = koefisien konduktivitas termal material 2 (W/m.K)

k₃ = koefisien konduktivitas termal material 3 (W/m.K)

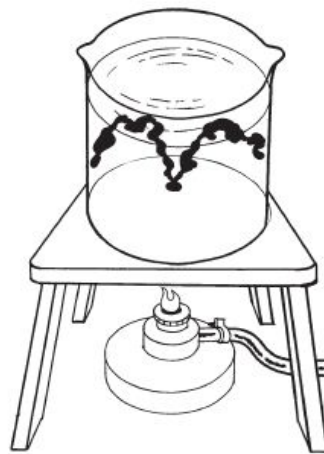
A₁ = luas permukaan material/lapisan 1 (m²)

A₂ = luas permukaan material/lapisan 2 (m²)

A₃ = luas permukaan material/lapisan 3 (m²)

2.2.2.b. Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas konveksi, dimana perpindahan panas terjadi di antara permukaan sebuah benda padat dengan fluida (cairan atau gas) yang mengalir menyentuh permukaan tadi (Ali Mahmudi, 2012; 6). Misalnya dinding pipa logam yang menjadi panas atau dingin akibat fluida panas atau dingin yang mengalir di dalamnya. Apabila aliran udara disebabkan oleh sebuah blower, kita menyebutnya sebagai konveksi paksa, dan apabila disebabkan oleh gradien massa jenis, maka disebut konveksi alamiah (Ted.J.Jensen, 1995; 8).



Gambar 2.4 Proses perpindahan panas konveksi

Pada umumnya, perpindahan panas konveksi dapat dinyatakan dengan hukum pendinginan Newton, sebagai berikut :

$$q_c = -h_c A (T_w - T_f) \quad (2.8)$$

Dimana :

q_c = laju perpindahan panas konveksi (W)

A = luas penampang bidang (m^2)

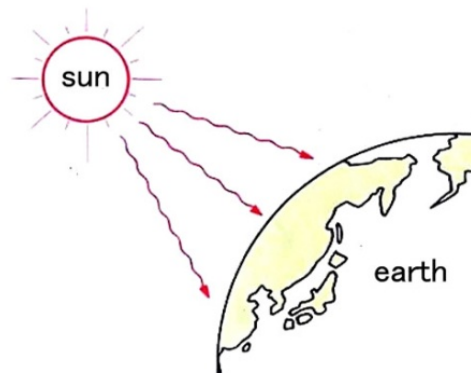
h_c = koefisien konveksi (W/m^2K)

T_w = suhu permukaan dinding (°K)

T_f = suhu fluida (°K)

2.2.2.c. Perpindahan Panas Secara Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi di antara dua permukaan yang terjadi tanpa adanya media perantara (Ali Mahmudi, 2012; 6). Misalnya perpindahan panas antara matahari dengan mobil berwarna hitam yang diparkir di tempat yang terik. Udara bukanlah perantara dalam perpindahan panas ini karena temperatur udara di sekitar mobil tersebut lebih rendah daripada temperatur mobil tersebut.



Gambar 2.5 Proses perpindahan panas radiasi

Pada umumnya, perpindahan panas secara radiasi dapat dinyatakan dengan rumus :

$$q_r = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.9)$$

Dimana :

q_r = laju perpindahan panas (W)

A = luas penampang bidang A (m^2)

T = temperatur (K)

σ = konstanta Stefan-Boltzman ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$)

ε = emisivitas bahan ($0 < \varepsilon < 1$)

2.2.2.d. Kalor Jenis

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang diserap atau diperlukan oleh 1 gram zat untuk menaikkan suhu sebesar 1°C . Kalor jenis juga diartikan sebagai kemampuan suatu benda untuk melepas atau menerima kalor. Masing-masing benda mempunyai kalor jenis yang berbeda-beda. Satuan kalor jenis $\text{J}/\text{Kg}^\circ\text{C}$.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2.10)$$

Dimana :

c = kalor jenis ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

Q = banyaknya kalor yang dilepas atau diterima suatu benda (Joule)

m = massa benda yang menerima atau melepas kalor (kg)

ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$)

2.2.2.e. Kapasitas Kalor

Kapasitas kalor (C) adalah banyaknya kalor yang diserap/dilepas untuk menaikkan/menurunkan suhu sebesar 1°C . Dari persamaan kalor, bahwa untuk menaikkan/menurunkan suhu suatu benda/sistem sebesar ΔT diperlukan kalor sebesar :

$$Q = C \times \Delta T \quad (2.11)$$

Maka kapasitas kalor dapat ditentukan dengan persamaan :

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Dimana :

Q = banyaknya kalor (Joule)

C = kapasitas kalor (Joule/ $^{\circ}\text{C}$)

ΔT = perubahan (kenaikkan/penurunan) suhu ($^{\circ}\text{C}$)

2.2.3. Freon

Freon adalah pendingin buatan atau refriferant yang biasanya digunakan sebagai fluida untuk menyerap beban pendingin ruangan atau tempat yang akan dikondisikan. Freon banyak digunakan pada peralatan AC (mesin pengkondisian udara) dan lemari pendingin/kulkas. Terdapat banyak jenis Freon, namun yang pada umumnya digunakan adalah jenis R-12 CFC (Chlorofluorocarbon), R-22 HCFC (Hidrochlorofluorocarbon) dan R134a HFC (Hidrofluorocarbon).

2.2.3.a. Jenis-Jenis *Freon*

Freon diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas berdasarkan jenis fluida yang digunakan, yaitu :

1. CFC (Chlorodifluorocarbon).

Yaitu senyawa yang hanya mengandung klorin, fluor, dan karbon dan tidak mengandung hidrogen. CFC memiliki efek ODP dan GWP yang sangat tinggi. Contoh CFC antara lain R11, R12, R13, R113, R500, R502, dll.

2. HCFC (Hydrochlorofluorocarbon).

Yaitu senyawa haloalkana dimana tidak semua hidrogen digantikan dengan klorin atau fluor. HCFC bisa digunakan sebagai pengganti CFC karena memiliki nilai ODP yang lebih rendah. Contoh HCFC antara lain R22, R123, R401A, R403A, R408A, dll.

3. HFC (Hydrofluorocarbon).

HFC tidak mengandung klorin yang merupakan senyawa perusak. HFC hanya terdiri dari hidrogen, fluor, karbon. HFC tidak merusak ozon dan memiliki nilai ODP dan GWP yang rendah. Contoh HFC antara lain R134A, R404A, R407C, R507C, dll.

4. HC (Hydrocarbon).

Hidrokarbon adalah senyawa organik yang terdiri dari hidrogen dan karbon. HC tidak memiliki dampak buruk terhadap lingkungan namun memiliki dampak negatif terhadap pengguna, karena umumnya mudah terbakar. Contohnya antara lain propana, ethane, iso butana, dll.

5. Natural

Yaitu refrigeran yang langsung digunakan dari alam. Umumnya tidak memiliki efek samping yang berbahaya bagi lingkungan, namun berbahaya bagi penggunaannya karena memiliki kadar racun yang tinggi. Contohnya yaitu udara, amonia, dan karbon dioksida.

2.2.4. Mesin Pendingin Dengan *Freon*

Mesin pendingin adalah sebuah alat untuk mengawetkan bahan bahan makanan, atau untuk membuat es, atau untuk mendinginkan ruangan (Idrus HA, 2002; 5). Dari segi kegunaan dan fungsinya, terdapat 3 macam mesin pendingin :

1. *Refrigerant* atau kulkas atau lemari es

Mesin pendingin jenis ini biasanya dipakai di rumah-rumah tangga. Kebanyakan ia dipakai untuk mengawetkan bahan bahan makanan seperti daging, ikan, sayur sayuran, buah buahan. Selain itu dapat juga dipakai untuk membuat es.

2. *Freezer* atau kotak es

Mesin pendingin jenis ini biasanya dipakai oleh perusahaan perusahaan pembuat es mambo, untuk membuat es dalam jumlah yang banyak. Juga banyak dipakai oleh rumah-rumah makan, hotel hotel, dan lain lain. Daya pendingin *freezer* lebih besar daripada kulkas.

3. *Air Conditioner (AC)*

Mesin pendingin gunanya adalah untuk mendinginkan ruangan. Ia banyak dipakai di ruanan kantor, hotel-hotel, gedung-gedung pertunjukkan, bioskop-bioskop, toko toko swalayan, super bazaar-super bazaar, di dalam bis-bis patas, kereta api-kereta api, dan rumah-rumah mewah pun adakalanya memakai AC ini.

2.2.4.a. Mesin Pendingin Freon atau Kulkas

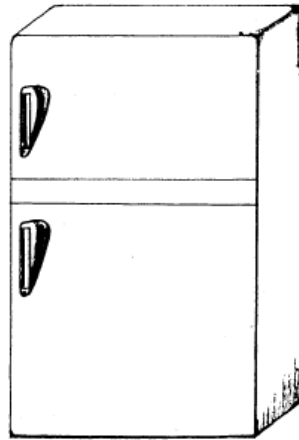
Pada mesin pendingin yang ada pada masa sekarang, proses pendinginan menggunakan proses penguapan. Asas kerja dari mesin pendingin itu adalah menguapkan sesuatu gas tertentu, yaitu gas yaitu gas kompon hydro karbon yang tidak mengandung logam. Untuk menguapkan zat tersebut dibutuhkan kalori atau panas. Kalori atau panas ini diambil dari daerah sekitar zat yang diuapkan itu.

Dengan demikian daerah sekitar zat yang diuapkan itu akhirnya kehilangan panas. Dengan hilangnya panas maka dinginlah ia (Idrus HA, 2002; 5). Zat cair yang diuapkan tersebut dinamakan zat pendingin, istilah teknisnya adalah *refrigerant* atau bahan pendingin, *refrigerant* diproses melalui penekanan- penekanan suhu, dipanaskan mencapai temperatur tertentu kemudian diuapkan dan kemudian menjadi dingin (Pambudi Prasetya, 1998; 8).

Komponen komponen mesin pendingin atau kulkas disusun dari beberapa komponen, diantaranya :

1. Bodi

Bodi atau kabinet adalah ibarat tubuh pada manusia. Di dalam bodi inilah bahan bahan makanan yang perlu diawetkan disimpan dan di dalam bodi inilah proses pendinginan berlangsung.

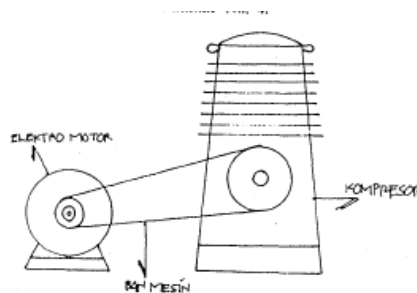


Gambar 2.6 Bodi kulkas

Biasanya di dalam bodi mesin pendingin terdapat dua lapisan. Di antara kedua bodi tersebut diberi bahan yang dapat mempertahankan suhu di dalam bodi agar tetap dingin, bahan tersebut berupa ijuk, kapuk atau yang lainnya (Idrus HA, 2002; 7).

2. Elektromotor

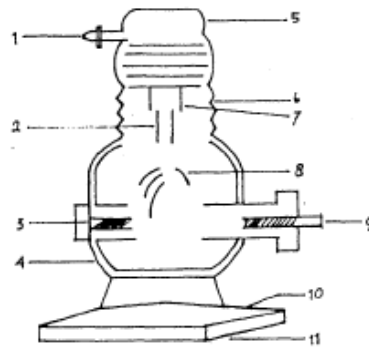
Kalau bodi dapat diumpamakan sebagai tubuh bagi manusia, maka elektromotor adalah jantungnya, sedangkan aliran listrik adalah nyawanya. Tugas elektromotor adalah mengubah aliran listrik yang diterimanya menjadi daya mekanik atau gerak berputar yang akan digunakan untuk memutar kompresor (Idrus HA, 2002; 8).



Gambar 2.7 Rangkaian elektromotor-kompresor

3. Kompresor

Kompresor adalah alat penghisap dan penghembus. Tugasnya pada mesin pendingin adalah untuk mengedarkan *refrigerant* (zat pendingin) guna terjadinya proses pendinginan (Idrus HA, 2002 11).



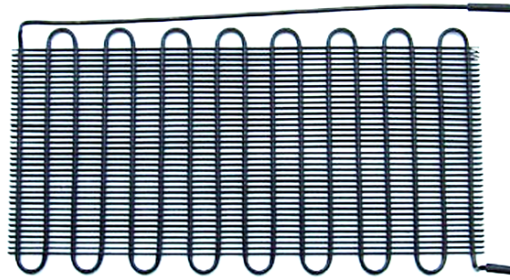
Gambar 2.8 Bagian-bagian kompresor

PENJELASAN :

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1. <i>Exhaust port</i> | 7. <i>Piston</i> |
| 2. <i>Connecting rod</i> | 8. <i>Counter weight</i> |
| 3. <i>Crankshaft</i> | 9. <i>Shaft seal</i> |
| 4. <i>Casrter</i> | 10. <i>Base plate gasket</i> |
| 5. <i>Cylinder cover</i> | 11. <i>Base plate</i> |
| 6. <i>Cylinder</i> | |

4. Kondensor

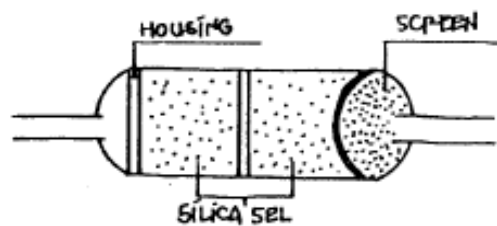
Kondensor merupakan bagian dari komponen-komponen yang terdapat dalam sebuah unit mesu pendingin. Ia terletak pada bagian belakang cabinet atau bodi, berupa pipa panjang yang terbuat dari tembaga. Tugas kondensor adalah menurunkan suhu *refrigerant* yang mengalir di dalamnya (Idrus HA, 2002; 14).



Gambar 2.9 Kondensor

5. *Drier Strainer* atau *Receiver Drier*

Saringan ini bertugas menyaring gas sebelum masuk ke pipa kapiler, supaya kotoran-kotoran yang ada tidak terbawa masuk ke dalam pipa kapiler. Karena jika pipa kapiler tersebut dimasuki kotoran ia akan tersumbat, akibatnya proses pendinginan akan terhenti.

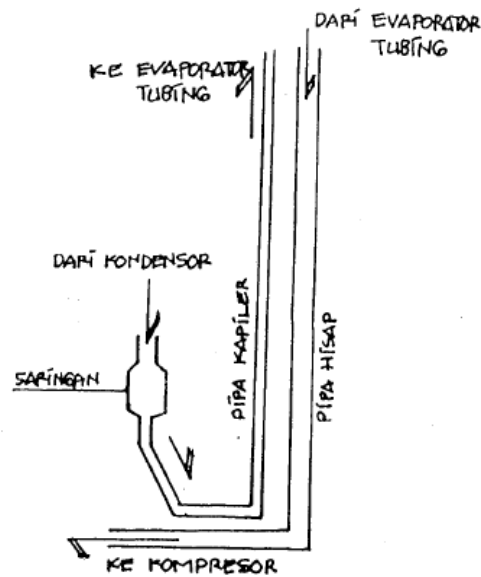


Gambar 2.10 Bagian-bagian drier strainer

Saringan yang asli dari perusahaan biasanya terdiri dari *silica gel* yang tugasnya menyerap kotoran dan screen yang terbuat dari kawat yang halus sekali. Apabila saringan ini telah rusak maka ia harus segera diganti (Idrus HA, 2002; 15).

6. *Capillary Tube* atau Katup Ekspansi

Capillary Tube adalah sebatang pipa yang berdiameter sangat kecil, yaitu 0,26 mm atau 0,31 mm dan panjang 1,5 meter. Sebagian terletak di dalam cabinet (bodi) dan sebagian lagi di luar bodi.



Gambar 2.11 Aliran *refrigerant* dari *capillary tube*

Tugas dari *capillary tube* adalah sebagai penghambat lajunya gas, sehingga tekanan gas di dalam kondensor menjadi naik. Dengan naiknya tekanan dan pengaruh pendinginan dari udara luar, maka gas yang ada di dalam kondensor akan berubah menjadi cair (*liquid*). (Idrus HA, 2002; 16).

7. Evaporator Tubing

Evaporator tubing atau pipa penguapan ini panjangnya kira-kira 10 meter. Karena panjangnya maka pipa ini juga dibengkok-bengkokan pada sebuah kotak yang terbuat dari aluminium yang dikenal sebagai *rake* s.

Tugas pipa penguapan ini adalah untuk menguapkan cairan yang berasal dari pipa kapiler tadi. Karena penguapan itu membutuhkan panas (kalori) dan panas tersebut diambil dari sekitar evaporator, maka terjadilah pendinginan. Begitulah terjadinya proses pendinginan pada mesin pendingin (Idrus HA, 2002; 17).

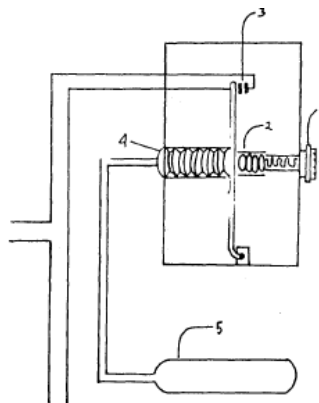


Gambar 2.12 Evaporator

8. *Control Thermal Contact*

Adalah alat pengontrol temperatur. Biasanya disebut juga *thermostatic switch*. Letaknya di dalam cabinet adalah di bagian atas berdekatan dengan rak es. Tugas *thermostatic switch* adalah :

- a. Mengatur batas suhu yang ada di dalam ruangan evaporator (rak es).
- b. Mengatur lamanya kompresor berhenti.
- c. Menghentikan lagi dan menjalankan kembali kompresor secara otomatis (Idrus HA, 2002; 18).



Gambar 2.13 *Control thermal contact*

PENJELASAN :

1. *Cold Adjustment Knob*

Alat ini berupa knob yang dapat diputar-putar ke kiri dan ke kanan. Pada knob ini terdapat angka-angka dari 1 sampai 10. Angka-angka ini menunjukkan tekanan *spring* (lihat gambar di atas) makin tinggi angkanya makin keras pula tekanannya.

2. *Spring*

Alat ini berfungsi untuk mengatur keras lemahnya tekanan pada kontak.

3. *Stationary dan Moveable Contact*

Kontak tetap ditekan oleh *spring* dan *bellows* dari arah yang berlawanan. Apabila tekanan *bellows* lebih kuat maka kontak tetap dan kontak tak tetap berhubungan, sebaliknya jika tekanan dari *spring* lebih kuat, maka kedua kontak itu tidak lagi berhubungan dan aliran pun terputus secara otomatis.

4. *Bellows*

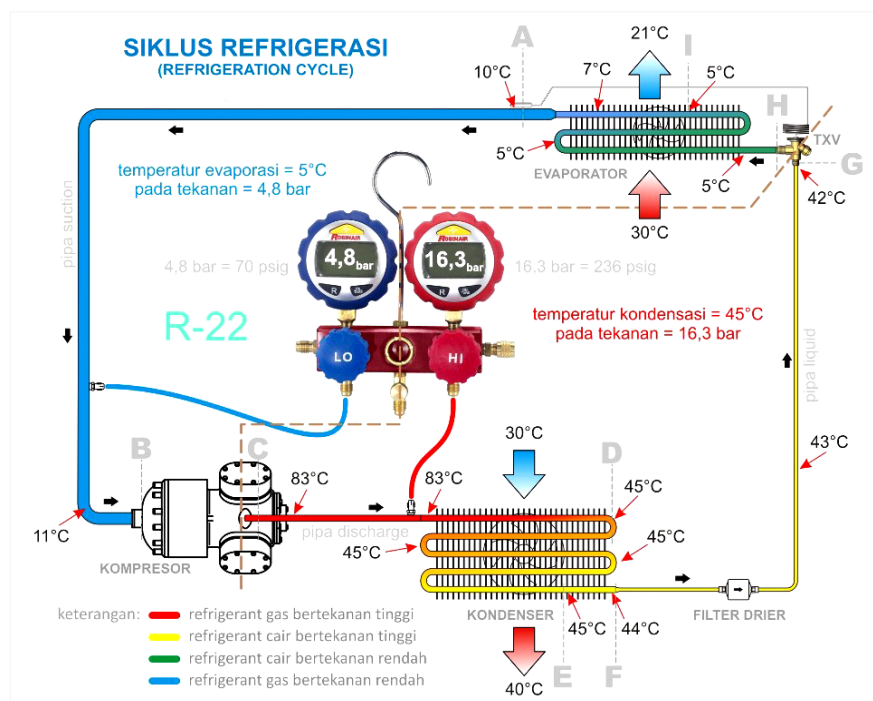
Alat ini mirip sebuah balon yang dapat mengembang dan mengerut. *Bellows* dan *bulb* saling berhubungan dengan perantara sebuah pipa kapiler. *Bulb* berisi gas dan cairan yang dapat membeku dan menguap. Apabila gas/cairan dalam *bulb* menguap maka *bellows* akan mengembang dan kalau gas/cairan dalam *bulb* membeku maka cairan dalam *bulb* mengerut.

5. *Thermostatic Bulb*

Thermostatic bulb ini merupakan sebuah tabung yang berisi sebuah gas yang dapat menguap dan membeku. Letaknya menempel pada dinding rak es. *Bulb* ini berhubungan dengan *bellows* dengan perantara pipa kapiler.

2.2.4.b. Siklus Pendingin Pada Mesin Pendingin Freon

Siklus pendinginan yang terjadi pada mesin pendingin merupakan proses berkelanjutan yang terjadi pada komponen komponen di atas. Siklus tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.14 Siklus pendinginan

1. Kompresor melepaskan *refrigerant* yang bertemperatur tinggi dan bertekanan tinggi karena menyerap panas dari evaporator ditambah panas yang dihasilkan kompresor saat langkah pengeluaran (*discharge stroke*).

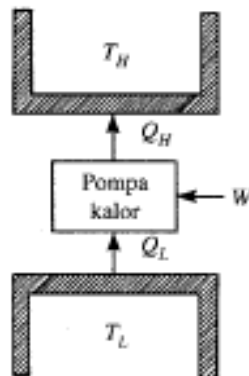
2. Gas *refrigerant* ini mengalir ke dalam kondensor. Di dalam kondensor, gas *refrigerant* mengembun kembali menjadi cairan.
3. Cairan *refrigerant* ini mengalir ke dalam *drier strainer* atau *receiver drier* yang menyimpan dan menyaring cairan *refrigerant* sampai evaporator memerlukan *refrigerant*.
4. *Capillary tube* atau *expansion valve* (katup ekspansi) merubah cairan *refrigerant* menjadi campuran dan cairan yang bertemperatur dan bertekanan rendah.

Gas *refrigerant* yang dingin dan berembun ini mengalir ke dalam evaporator (New Step 1, 1995, 7-4). *Blower* digunakan untuk mengalirkan udara pada evaporator. Selanjutnya udara tersebut mampu menyerap kondisi panas yang ada dalam ruangan mesin pendingin (Pambudi Prasetya, 1998; 9).

2.2.4.c. Mesin Pendingin Tanpa Freon

Berdasarkan siklus pendinginan yang dijelaskan di atas bila dikhususkan terdapat dua proses utama yang terjadi, yaitu pembuangan panas oleh kondensor dan penyerapan panas oleh evaporator. Setelah evaporator mengambil panas dari tempat sekitar pendinginannya sehingga daerah di sekitar evaporator menjadi turun temperaturnya, selanjutnya kondensor membuang panas yang dihasilkan selama evaporator bekerja.

Penjelasan di atas sesuai dengan proses termodinamika pada sebuah pompa kalor. Mesin pompa kalor atau *refrigerator* adalah mesin yang mempunyai tujuan untuk memasok energi ke suatu benda (Merle C. Potter, 2011; 101).



Gambar 2.15 Mesin pompa kalor

Sebuah pompa kalor akan memberikan energi sebagai kalor Q_H ke benda yang lebih panas (mis.sebuah rumah) dan sebuah *refrigerator* akan mengambil energi sebagai kalor Q_L dari benda yang lebih dingin (mis.sebuah kulkas). (Merle C. Potter, 2011; 102). T_L adalah panas yang berada di ruang yang didinginkan (evaporator), sementara T_H adalah panas yang berada di lingkungan (kondensor).

Berdasarkan konsep pendingin yang dijelaskan di atas dapat juga dibuat mesin pendingin yang bekerja tanpa menggunakan *refrigerant* yang terpenting tetap menggunakan konsep mesin pompa kalor, dimana salah satu sisi mesin menyerap panas dan sisi lainnya membuang panas. Mesin pendingin yang dalam bekerjanya tugas *freon* digantikan oleh modul *thermoelectric peltier* dan menggunakan energi listrik sebagai input nya.

2.2.5. Thermoelectric Peltier

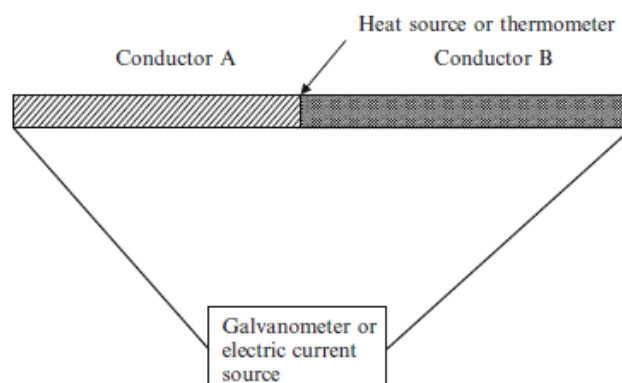
Pendingin *Thermoelectric* (TEC), juga sering disebut pendingin Peltier atau pompa panas solid-state yang memanfaatkan efek Peltier untuk memindahkan panas. Saat TEC / Peltier dilewati arus maka alat ini akan

memindahkan panas dari satu sisi ke sisi lain, biasanya menghasilkan perbedaan panas sekitar 40°C - 70°C .

2.2.5.a. Dasar Penemuan *Thermoelectric Peltier*

Thermoelectric pertama kali ditemukan oleh T. J. Seebeck pada tahun 1821. Dia menunjukkan bahwa gaya gerak listrik dapat diperoleh dengan memanaskan dua konduktor yang berbeda. Efek Seebeck dapat ditunjukkan dengan membuat hubungan antara dua buah kabel dari bahan logam yang berbeda (misalnya tembaga dan besi). (Julian Goldsmith, 2009; 1).

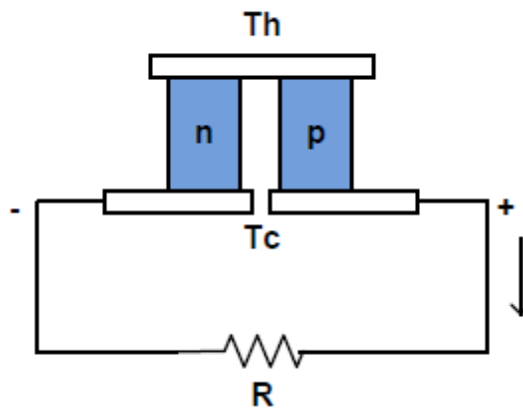
Tiga belas taun setelah penemuan T. J. Seebeck, J. Peltier menemukan kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Penemuan yang terjadi pada tahun 1834 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier. Efek Seebeck dan Peltier inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi termoelektrik.



Gambar 2.16 Percobaan untuk menunjukkan efek Seebeck dan Peltier

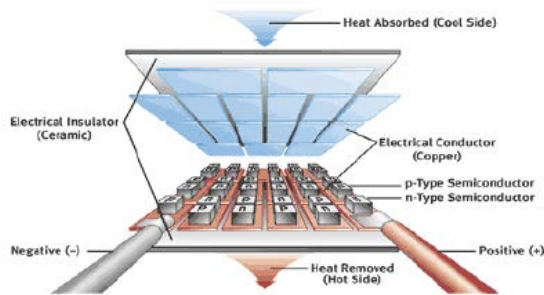
2.2.5.b. Konstruksi *Thermoelectric Peltier*

Thermoelectric dibangun oleh dua buah semikonduktor yang berbeda, satu tipe N dan yang lainnya tipe P. (mereka harus berbeda karena mereka harus memiliki kerapatan elektron yang berbeda dalam rangka untuk bekerja). Kedua semikonduktor diposisikan paralel secara termal dan ujungnya digabungkan dengan lempeng pendingin biasanya lempeng tembaga atau aluminium.



Gambar 2.17 Penampang *thermoelectric*

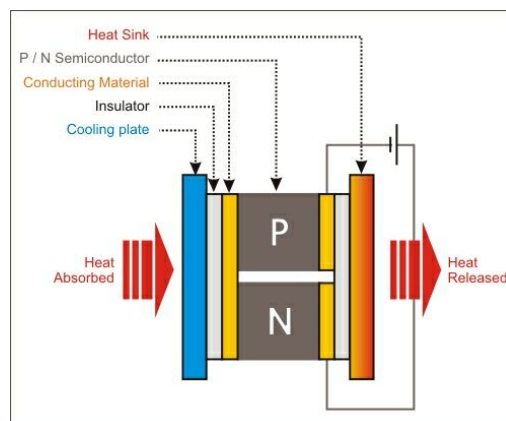
Ujung penghantar dari dua bahan yang berbeda dihubungkan ke sumber tegangan, dengan demikian arus listrik akan mengalir melalui dua buah semikonduktor yang terhubung secara seri. Aliran arus DC yang melewati dua semikonduktor tersebut menciptakan perbedaan suhu. Sebagai akibat perbedaan suhu ini, *peltier* pendingin menyebabkan panas yang diserap dari sekitar pelat pendingin akan pindah ke pelat lain (*heat sink*).



Gambar 2.18 Proses pemindahan panas pada *thermoelectric peltier*

2.2.5.c. Peltier Sebagai Mesin Pompa Kalor (Mesin Pendingin)

Dalam prakteknya banyak pasangan *thermoelectric* (pasangan) seperti dijelaskan diatas, yang terhubung paralel dan diapit dua buah pelat keramik dalam sebuah *thermoelectric* tunggal. Sedangkan besarnya perbedaan suhu panas dan dingin adalah sebanding dengan arus dan jumlah pasangan semikonduktor di unit.



Gambar Rangkaian 2.19 *Thermoelectric* untuk mesin refrigrasi

2.2.5.d. Kode Pada Peltier

Pada bodi *peltier* terdapat kode yang menunjukkan pembacaan dari spesifikasi yang ada pada *peltier* tersebut. Sebagai contoh untuk *peltier* dengan kode “TEC1-12706”.



Gambar 2.20 Kode pada *peltier*

Cara membaca kode pada *peltier* :

1. TE berarti *Thermoelectric*.
2. C menunjukkan ukuran dari *peltier*. C berarti standard sedangkan S berarti small.
3. Angka pertama setelah TEC menunjukkan model dari *peltier*. Misal angka 1 pada TEC1-xxxxx, berarti model *peltier* nomor 1.
4. Dua angka pertama setelah tanda “-” menunjukkan tegangan maksimal yang diizinkan. Misal pada *peltier* TEC1-12xxx, berarti tegangan maksimalnya 12V.
5. Satu angka setelah tegangan maksimal yang diizinkan menunjukkan arus listrik yang diizinkan. Misal pada *peltier* TEC1-xx7xx, berarti arus maksimalnya 7 Ampere.

6. Satu angka setelah arus maksimal yang diizinkan menunjukkan pembatas ampere, ditunjukkan dengan angka 0 pada *peltier* TEC1-12706.
7. Angka terakhir menunjukkan arus yang direkomendasikan untuk bekerja pada *peltier* agar kinerjanya maksimal. Pada *peltier* TEC1-xxxx6, berarti arus yang direkomendasikan sebesar 6 Ampere.

2.2.5.e. Data Teknis Pada Pendingin *Thermoelectric*

Data teknis yang biasa disertakan pada *thermoelectric* antara lain adalah ΔT_{\max} , I_{\max} , V_{\max} , Q_{\max} dan dimensinya (panjang, lebar, tebal). Berikut adalah penjelasan parameter tersebut :

1. ΔT_{\max} adalah perbedaan temperature terbesar antara sisi panas dan sisi dingin dari sebuah modul *thermoelectric*. Kondisi ini hanya dapat tercapai jika sisi dingin dari modul *thermoelectric* terisolasi sempurna.
2. I_{\max} adalah arus listrik yang menyebabkan terjadinya perbedaan temperature terbesar (ΔT_{\max}).
3. V_{\max} adalah tegangan yang dihasilkan apabila arus I_{\max} mengalir pada modul *thermoelectric*.
4. Q_{\max} adalah batas penyerapan kalor yang dapat dilakukan oleh modul *thermoelectric*.

Berikut ini adalah contoh data teknis dari modul *thermoelectric* dengan kode TEC1-12706 :

Tabel 2.2 Tabel data teknis *thermoelectric peltier* TEC1-12706

(Sumber: www.hebeiltd.com.cn)

HOT SIDE TEMPERATURE (°C)	25°C	50°C
Q _{max} (Watt)	50	57
ΔT _{max} (°C)	66	75
I _{max} (Ampere)	6.4	6.4
V _{max} (Volt)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohm)	1.98	2.30

Selain data di atas menurut penelitian yang dilakukan oleh Hendri pada Peltier

TEC1-12706 memiliki data sebagai berikut :

- Ukuran : 40x40x3,8 mm
- Hambatan dalam : 1,98 Ohm ± 10%
- Kompresi Maksimum : 1 Mpa
- Jumlah elemen (N) : 127 *couple*
- Panjang tiap elemen (L) : 1 cm
- Diameter tiap elemen (d) : 0,5 cm

Dan untuk elemen dari termoelektrik diketahui properti sebagai berikut :

- Koefisien seebeck : 0,0002 V/K
- Koefisien dari *couple* (k) : 0,015 W/cm.K
- Tahanan listrik (ρ) : 0,001095 Ω.cm
- Hubungan tahanan listrik (r) : 0,0001 Ω.cm²

2.2.5.f. Keuntungan dan Kelemahan Penggunaan *Peltier*

Kulkas/almari es dan pendingin ruangan memanfaatkan kompresor, kondensor dan refrigeran cair untuk mendapatkan suhu yang rendah, dengan sumber tegangan AC. Sementara *thermoelectric* menggunakan tegangan DC, *heat sink* dan semikonduktor. Perbedaan mendasar ini memberikan pendingin *thermoelectric* mempunyai keunggulan dibanding kompresor. Keunggulan itu antara lain :

1. Tidak ada bagian yang bergerak. Sehingga sangat sedikit atau bahkan tidak memerlukan perawatan. Hal ini sangat ideal untuk penggunaan yang mungkin sensitif terhadap getaran mekanis pendinginan.
2. Tidak ad zat pendingin semisal CFC yang berpotensi membahayakan.
3. Mengurangi kebisingan semisal kipas pendingin sementara memberikan pendinginan yang lebih besar.
4. Cocok untuk aplikasi-aplikasi yang berukuran kecil semisal mikroelektronik.
5. Umur panjang, lebih dari 100.000 jam MTBF (*Mean Time Between Failures*).
6. Mudah dikontrol (dengan tegangan dan arus).
7. Respon dinamis cepat.
8. Dapat memberikan pendinginan di bawah suhu lingkungan.
9. Ukuran kecil dan ringan.

Sementara untuk kelemahan penggunaan *peltier* sebagai mesin pompa kalor atau mesin pendingin karena efisiensinya yang masih rendah yaitu sekitar 20% saja.

2.2.5.g. *Coefficient of Performance (COP)*

Untuk menunjukkan seberapa baik performa dari suatu pompa kalor, maka dikenal *Coefficient of Performance (COP)* yang merupakan perbandingan antara output yang digunakan dengan input yang diberi pada sistem, yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{COP} = \frac{q_c}{P_{in}} \quad (2.12)$$

$$P_{in} = Q_h - Q_c$$

Dimana :

$$q_c = \text{kalor yang dipindahkan} \quad (\text{W})$$

$$q_h = \text{kalor yang diemisikan ke lingkungan} \quad (\text{W})$$

$$P_{in} = \text{daya input sistem} \quad (\text{W})$$