

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Termal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau (Juni – Oktober 2016).

3.2 Jenis dan Sumber Data

Data yang didapatkan adalah data perhitungan, hasil perancangan, dan pengukuran performansi dari pendingin minuman *portable*, yang didapatkan dari hasil perhitungan dan pengujian alat pendingin tersebut.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah pendingin minuman *portable* menggunakan 1 (satu) modul termoelektrik dengan kapasitas 1 (satu) minuman kaleng yang menggunakan *heat sink* dan *fan cooler* untuk membuang panas pada sisi panas.

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahap yaitu: penelusuran literatur, *design requirement and objective*, penentuan material isolator, membuat desain (gambar kerja) pendingin minuman *portable*, perhitungan desain (gambar kerja) pendingin minuman *portable*, manufaktur masing-masing komponen utama ataupun komponen penunjang pendingin minuman *portable*, perakitan/*assembly* dan langkah terakhir adalah pengujian pendingin minuman *portable* selengkapnya dapat diuraikan sebagai berikut:

3.3.1 Penelusuran Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah mencari referensi teori yang relevan dengan pembuatan pendingin minuman *portable*. Referensi tersebut berisikan tentang termoelektrik, prinsip kerja pendingin termoelektrik, perpindahan panas konveksi, beban panas dari luar, perhitungan perpindahan panas transien dan perhitungan pendingin termoelektrik.

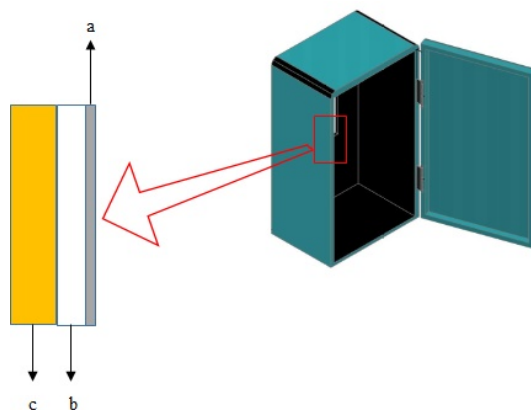
3.3.2 Design Requirement and Objective

Sebelum pembuatan desain terlebih dahulu menentukan target dan tujuan pembuatan pendingin minuman *portable* antara lain :

1. Bentuk dari pendingin minuman *portable* sederhana yaitu berbentuk seperti balok lebih tepatnya seperti lemari pendingin (kulkas) dengan ukuran lebih kecil.
2. Ruang pendingin memiliki bentuk kotak, dimensi yang sesuai dengan minuman kemasan dan dinding terbuat dari bahan berkonduktivitas tinggi untuk memperluas bidang perpindahan panas.
3. Pendingin minuman *portable* ringan dengan massa tidak lebih dari 2 kilogram.
4. Dapat mendinginkan minuman satu jenis kemasan dalam rentang waktu paling lama 30 menit.
5. Daya yang ingin dicapai tidak terlalu besar.
6. Harga jual tidak lebih dari Rp 400.000,- agar terjangkau untuk konsumen yang tertarik untuk membeli.
7. Material yang digunakan untuk membuat pendingin minuman *portable* mudah didapat dan murah.
8. Pendingin minuman *portable* mudah dalam pengoperasian dan aman untuk digunakan.

3.3.3 Penentuan Material

Pemilihan material didasarkan pada *design requirement and objective* yaitu material yang digunakan untuk pembuatan pendingin minuman *portable* harus murah dan tersedia di pasaran. Pada Gambar 3.3 ditunjukkan komponen yang harus ditentukan pemilihan material.



Gambar 3.1 Skema alat rancangan dan penentuan material

Kriteria pemilihan material dalam pembuatan pendingin minuman *portable* untuk tiap komponen adalah sebagai berikut :

a. Dinding ruang pendingin.

Dinding ruang pendingin berperan sebagai perluasan bidang perpindahan panas. Material yang dibutuhkan untuk dinding ruang pendingin adalah material dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi agar dapat menghantarkan kalor dengan cepat. Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Sehingga dibutuhkan material dengan nilai massa jenis yang rendah agar alat tersebut ringan. Beberapa material yang dipilih adalah aluminium, tembaga, dan kuningan.

Perbandingan harga menjadi faktor utama dalam evaluasi pemilihan material karena pembatasan biaya dalam pembuatan adalah Rp 400.000,- .

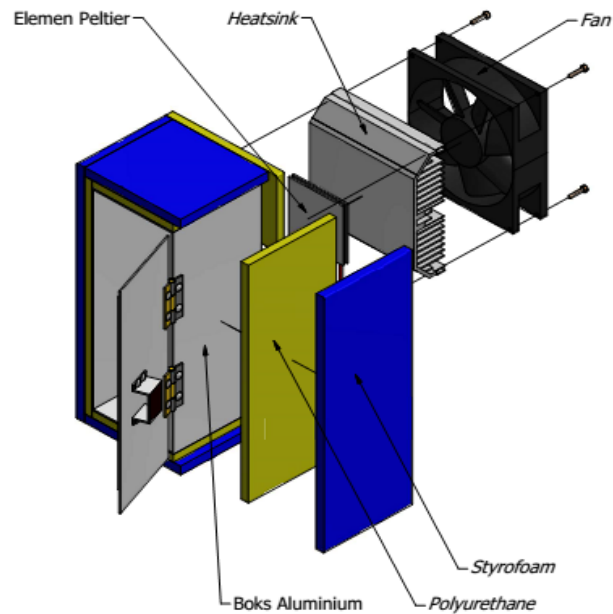
b. Isolator pertama dan isolator kedua

Isolator panas berperan sebagai mencegah panas dari lingkungan masuk ke dalam ruang pendingin. Isolator panas kedua berperan sebagai membantu isolator panas pertama mencegah panas dari lingkungan masuk ke dalam ruang pendingin dan juga berperan untuk menjaga pendingin minuman *portable* tidak rusak ketika jatuh.

Material yang dipilih sebagai isolator pertama dan isolator kedua adalah Styrofoam (*Polystyrene Expanded Foam*) dan Polyurethane foam.

3.3.4 Membuat Gambar Alat

Desain dibuat dengan bantuan *software Autodesk Inventor 2015*. Gambar 3.2 adalah desain dari produk pendingin minuman *portable* yang akan dibuat. Penentuan dimensi desain mempertimbangkan ukuran minuman kaleng 330 ml dan 250 ml, air mineral 600 ml dan susu kotak 250 ml yang terdapat di pasaran.

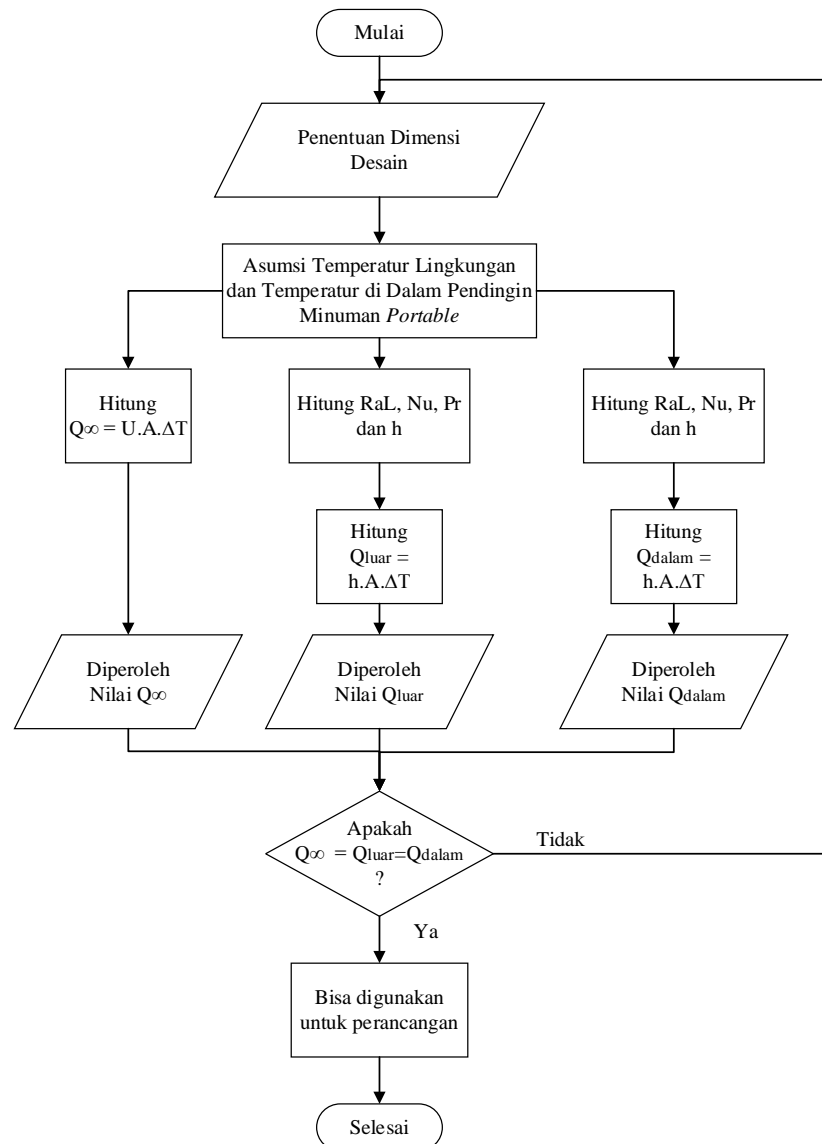


Gambar 3.2 Desain Pendingin Minuman *Portable*

Desain dipilih berdasarkan perbandingan antara laju perpindahan panas, massa pendingin minuman *portable*, perpindahan panas transien dan daya.

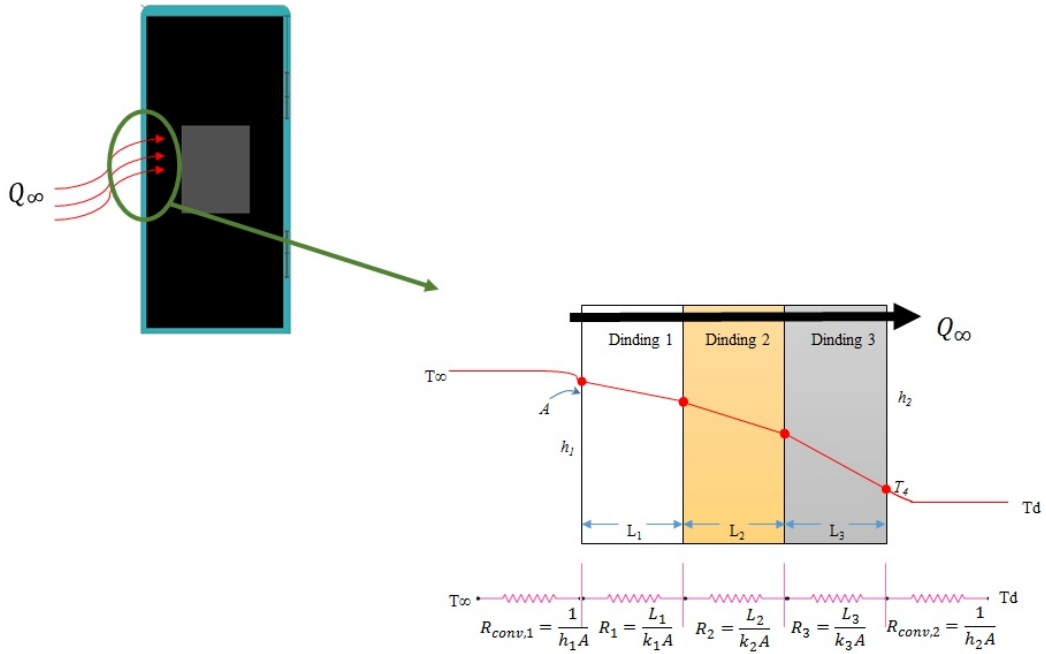
3.3.5 Perhitungan Perpindahan Panas dari Desain

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan perpindahan panas dari kelima desain dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*. Adapun tahapan perhitungan perpindahan panas dari desain yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.3 Tahapan Perhitungan Perpindahan Panas

Nilai UA didapatkan dengan menghitung nilai perpindahan panas dari lingkungan hingga ke dalam ruang pendingin (Q_{∞}) dapat dilihat pada Gambar 3.4. Nilai konveksi di dalam ruang pendingin diasumsikan tidak terjadi karena temperatur di dalam ruang pendingin dianggap seragam.



Gambar 3.4 Perhitungan Q_{∞}

Dengan menggunakan persamaan 12 untuk mengekspresikan nilai Q_{∞} :

$$Q_{\infty} = \frac{\Delta t}{R_{total}}$$

Dengan

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{conv,2}$$

$$R_{total} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A} + \frac{1}{h_2 A}$$

h_1 adalah nilai koefisien konveksi untuk perpindahan panas dari temperatur lingkungan ke badan luar. Konveksi yang terjadi adalah konveksi bebas. Untuk dapat mencari nilai h_1 dapat menggunakan persamaan 7 dengan

Nusselt Number :

$$h_1 = \frac{k}{L_c} Nu$$

Sedangkan nilai h_2 adalah nilai koefisien konveksi untuk perpindahan panas dari dinding dalam ruang pendingin hingga ruang pendingin. Sama halnya dengan mencari nilai h_1 , untuk dapat mencari nilai h_2 gunakan persamaan 7 dengan

Nusselt Number :

$$h_2 = \frac{k}{L_c} Nu$$

Nilai Q_{luar} adalah perpindahan panas konveksi bebas dari lingkungan ke dinding luar pendingin minuman *portable*, sedangkan nilai Q_{dalam} adalah perpindahan panas konveksi bebas dari dinding dalam permukaan pendingin minuman *portable* ke ruang pendingin. Untuk memperoleh nilai Q_{luar} dan Q_{dalam} bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 1 :

$$Q_{luar} = h \cdot A \Delta T$$

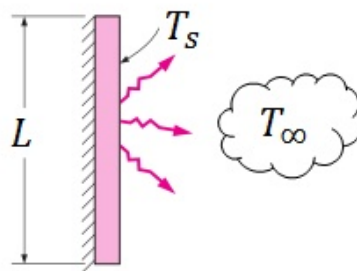
$$Q_{dalam} = h \cdot A \Delta T$$

Koefisien perpindahan panas konveksi h dapat dihitung dengan mencari terlebih dahulu nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dan nilai *Nusselt Number* (Nu). Nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2 :

$$Ra_L = Gr_L Pr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr$$

Untuk perpindahan panas konveksi pada dinding vertikal sesuai Gambar 3.5, nilai *Nusselt Number* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3 :

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{4}} Pr^{\frac{1}{4}}}{[1 + (0,429/Pr)^{\frac{1}{4}}]^{\frac{1}{4}}} \right]^2$$



Gambar 3.5 Perpindahan Panas Konveksi Alami pada Dinding Vertikal
(Cengel, 2006)

Sedangkan untuk menghitung perpindahan panas pada dinding horizontal , nilai *Nusselt Number* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 :

$$Nu = 0,54 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}}$$

Setelah nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dan nilai *Nusselt Number* (Nu) diperoleh, maka nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan 7 :

$$h = \frac{k}{L_c} Nu$$

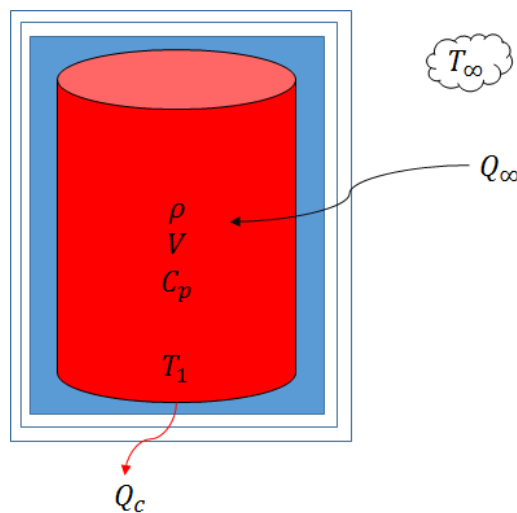
Untuk nilai sifat-sifat udara (k, ν, β dan Pr) dapat dilihat dari tabel A-15 *Heat Transfer, Yunus A. Cengel 2nd Edition*. Temperatur *film* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T_f = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Dengan nilai $\beta = \frac{1}{T_f}$ untuk udara sebagai gas ideal.

3.3.6 Perhitungan Perpindahan Beban Kondisi Transien

Pada kondisi transien, modul termoelektrik bukan hanya mendinginkan minuman tetapi juga mendinginkan bagian pendingin minuman *portable* yang terdiri dari ruang pendingin dan isolator dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Kondisi Transien

Untuk dapat mencari nilai Q_c dapat menggunakan persamaan 21 berikut.

$$Q_c - Q_\infty = m \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{dt} \dots \dots \dots (21)$$

Dengan nilai massa dari persamaan 22 berikut.

$$m = \rho \cdot V \dots \dots \dots (22)$$

Substitusikan nilai m pada persamaan 22 ke persamaan 21, sehingga menjadi persamaan 23 berikut.

$$Q_c - Q_\infty = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \frac{\Delta T}{dt} \dots \dots \dots (23)$$

Dengan kondisi batas t_2, t_1, T_2 dan T_∞ , maka :

$$\int_{t_1}^{t_2} (Q_c - Q_\infty) dt = \int_{T_1}^{T_\infty} \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$(Q_c - Q_\infty)(t_2 - t_1) = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (T_\infty - T_1)$$

$$(Q_c - Q_\infty) = \rho \cdot V \cdot C_p \frac{(T_\infty - T_1)}{(t_2 - t_1)}$$

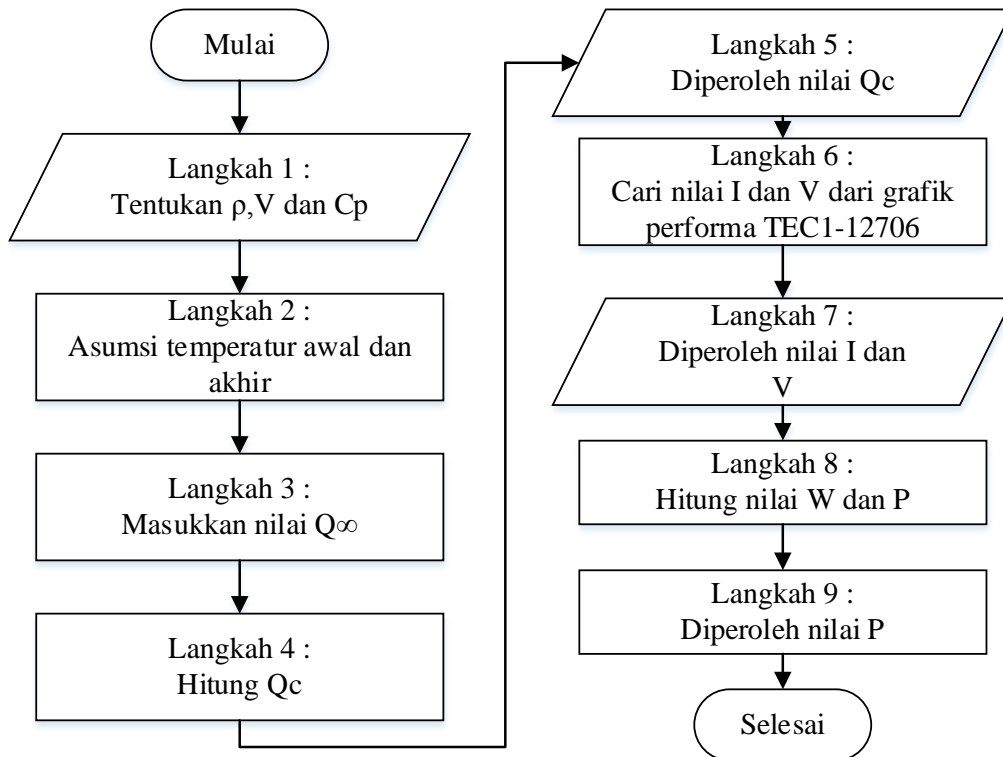
Sehingga, untuk mencari nilai Q_c menggunakan persamaan 24 berikut.

$$Q_c = \rho \cdot V \cdot C_p \frac{(T_\infty - T_1)}{(t_2 - t_1)} + Q_\infty \dots \dots \dots (24)$$

Keterangan :

- Q_c : Laju perpindahan panas pada kondisi transien (Watt)
- ρ : Massa jenis fluida cair (kg/m³)
- V : Volume fluida cair (m³)
- C_p : Panas spesifik (Kj/Kg.°C)
- $T_\infty - T_1$: Selisih temperatur lingkungan dan ruang pendingin(°C)
- $t_2 - t_1$: Selisih waktu (s)
- Q_∞ : Laju perpindahan panas konduksi konveksi (Watt)

Tahapan perhitungan perpindahan panas pada kondisi transien dan daya dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Tahapan perhitungan perpindahan panas kondisi transien dan daya

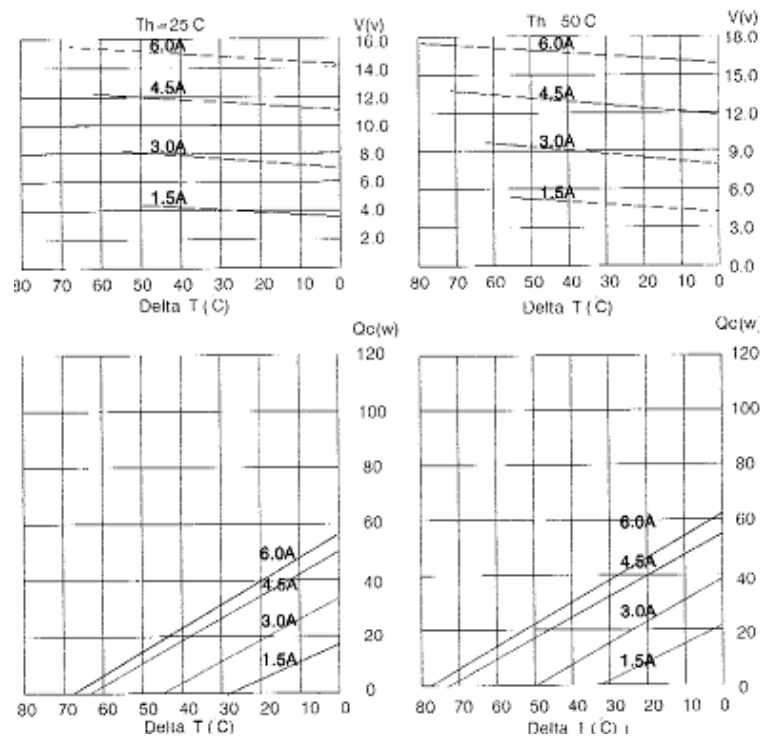
Setelah diperoleh nilai laju perpindahan panas pada kondisi transien, nilai kuat arus (I) dan tegangan listrik (V) juga diperoleh melalui kurva performa modul termoelektrik TEC1-12706 pada Gambar 3.8. Adapun nilai yang perlu diketahui pertama adalah nilai ΔT dan Q_c . Nilai ΔT adalah selisih temperatur sisi panas modul termoelektrik dan sisi dingin modul termoelektrik. Nilai Q_c adalah laju perpindahan panas dalam kondisi transien. Untuk mendapatkan nilai ΔT dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan 25 berikut :

$$\Delta T = T_h - T_c \dots\dots\dots(25)$$

Keterangan :

T_h : Temperatur sisi panas modul termoelektrik (°C)

T_c : Temperatur sisi dingin modul termoelektrik (°C)



Gambar 3.8 Kurva Performa TEC1 12706
(www.hebeiltd.com.cn)

Nilai daya listrik (P) yang diperlukan diperoleh setelah mendapatkan nilai dari energi listrik (W), nilai energi listrik (W) diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W = V \cdot I \cdot t \dots\dots\dots(27)$$

Keterangan :

- W : Energi listrik (J)
- V : Tegangan listrik (V)
- I : Kuat arus (ampere)
- t : Selang waktu (s)

Setelah diperoleh energi listrik(W) maka daya listrik(P) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots(28)$$


Keterangan :

- W : Energi listrik (J)
- P : Daya listrik (W)

3.3.7 Perakitan / Assembly

Pada tahapan perakitan, hal yang perlu diperhatikan adalah mempersiapkan komponen yang digunakan dalam pembuatan pendingin minuman *portable*. Berikut ini adalah komponen yang digunakan dalam pembuatan pendingin minuman *portable*.

<p>Termoelektrik dengan tipe TEC1-12706</p>		<p>Gambar 3.9 Termoelektrik Tipe TEC1-12706 (www.hebeiltd.com)</p>
<p><i>Heatsink</i> dan kipas(<i>fan</i>) kecil yang biasa digunakan pada PC</p>		<p>Gambar 3.10 <i>Heatsink</i> dan <i>Fan</i> Tipe Deepcool ck-am209 (www.deepcool.com)</p>
<p><i>Polyurethane</i></p>		<p>Gambar 3.11 <i>Polyurethane Foam</i></p>

<i>Thermal Paste</i>		Gambar 3.12 <i>Thermal Paste</i>
<i>Box Aluminium</i>		Gambar 3.13 Box <i>Aluminium</i>

3.4 Alat dan Bahan

Alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data kotak pendingin minuman menggunakan modul termoelektrik adalah :

1. Termokopel digital
2. Stop watch
3. Volt meter
4. Amper meter

Komponen kotak pendingin menggunakan termoelektrik yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Kotak pendingin
2. Elemen peltier TEC-12706 dengan jumlah 1 buah
3. Heat sink 1 buah
4. Fan 1 buah
5. Voltage regulator 1 Buah

3.5 Pengujian Pendingin Minuman *Portable*

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui performa dari modul termoelektrik yang akan dilihat perubahan temperatur di dalam *box* aluminium, pada *heatsink* dan dinding *box* aluminium.

Pengambilan data temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel dengan data per 5 menit.

Adapun peletakan sensor temperatur pada pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Termokopel yang mengukur temperatur dinding luar

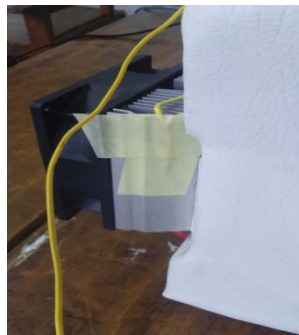
Termokopel diletakan pada bodi pendingin minuman *portable* untuk mengukur temperatur dinding luar seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Termokopel pada dinding luar

- b. Termokopel pada *heatsink*

Termokopel diletakan pada *heatsink* untuk mengetahui temperatur sisi panas modul termoelektrik yang di *mounting* dengan *heatsink* seperti pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Termokopel pada *heatsink*

c. Termokopel pada *box* aluminium

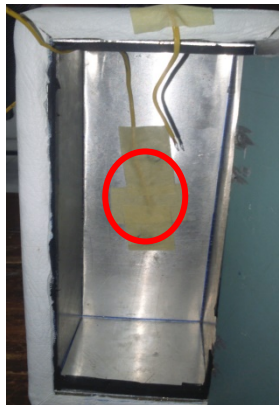
Termokopel diletakkan pada *box* aluminium untuk mengetahui nilai perubahan temperatur *box* aluminium selama sistem beroperasi seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Termokopel pada *box* aluminium

d. Termokopel pada dinding *box* aluminium

Termokopel diletakkan pada dinding *box* aluminium untuk mengetahui nilai perubahan temperatur sisi dingin modul termoelektrik seperti pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Termokopel pada dinding *box* aluminium

e. *Portable thermo hygrometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan selama pengujian berlangsung seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 *Portable Thermo Hygrometer*

f. Termokopel pada air minuman kemasan

Termokopel dimasukkan ke dalam air kemasan untuk mengetahui perubahan temperatur air kemasan tersebut seperti pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Termokopel pada air minuman kaleng

3.6 Prosedur Pengujian Alat

Pengujian dilakukan pada saat kondisi alat tanpa beban dan pada saat alat diisi dengan beban pendingin berupa air aqua gelas.

Sebelum melakukan pengujian maka harus dilakukan pengecekan alat :

1. Pastikan semua tombol listrik dalam kondisi off .
2. Pastikan semua peralatan listrik sudah terinstall dengan baik.
3. Cek alat ukur temperatur apakah sudah berada dalam kondisi baik.
4. Cek pemasangan alat ukur apakah sudah baik dan sudah tepat posisinya.

Prosedur pengambilan data

1. Sambungkan kabel listrik pada tegangan 220 V
2. Aktifkan kipas angin dan modul elemen pendingin (peltier) diaktifkan dengan menekan tombol warna hijau pada posisi ON.
3. Ambil data setiap 5 menit sekali.