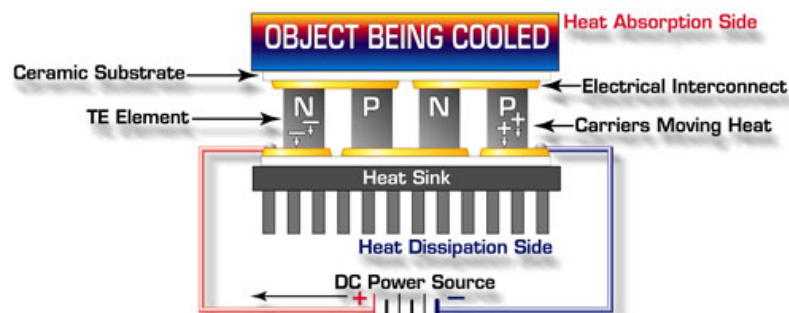


BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

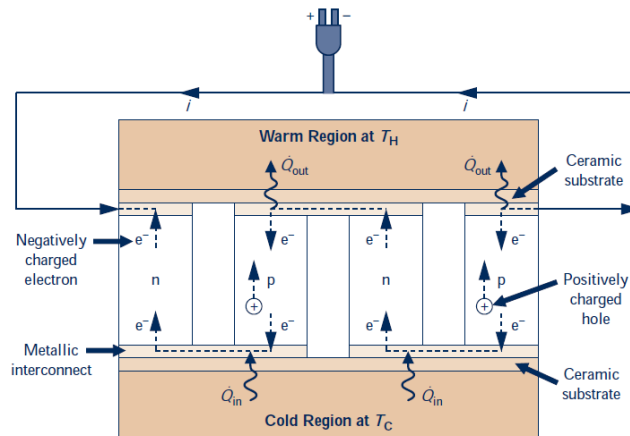
Modul termoelektrik adalah sebuah pendingin termoelektrik atau sebagai sebuah pompa panas tanpa menggunakan komponen bergerak (Ge dkk, 2015, Kaushik dkk, 2016). Sistem pendingin beroperasi pada arus DC dan dapat digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan dengan pembalikan arah arus. Proses pendinginan atau pemanasan ini dicapai dengan memindahkan panas dari salah satu sisi modul pendingin ke sisi yang lain dengan adanya arus listrik yang mengalir dan memenuhi hukum termodinamika. Sebuah modul pendingin satu tingkat (**Gambar 1**) terdiri dari dua pelat keramik dengan bahan semikonduktor tipe **P** dan tipe **N** (bismuth teluride) diantara kedua pelat keramik.



Gambar 2.1 Sebuah modul termoelektrik yang dialiri arus DC. (

<https://ferotec.com>. (2016). www.ferotec.com/technology/thermoelectric)

Elemen-elemen bahan semikonduktor tersebut dihubungkan dengan listrik secara seri dan dengan termal secara paralel. Ketika suatu arus listrik DC positif diberikan untuk elemen termal tipe **N**, elektron akan bergerak dari elemen termal tipe **P** ke elemen termal tipe **N** dan temperatur sisi yang dingin akan berkurang karena panas di sisi tersebut diserap. Energi panas ini ditransfer ke sisi panas dari pendingin, dimana panas tersebut diteruskan ke heat sink dan lingkungan sekitar (**Gambar 2**). Penyerapan energi panas ini (pendinginan) adalah sebanding dengan arus listrik dan banyaknya kopel termoelektrik (Moran, 2011).



Gambar 2.2 Skematik sebuah pendingin termoelektrik (Moran, 2011)

Pengembangan alat pendingin termoelektrik untuk kebutuhan refrigerasi rumah tangga sudah pernah dilakukan oleh Min dan Rowe tahun 2006. Sebuah kaji eksperimental menunjukkan bahwa COP atau *Coefficient of Performance* dari pendingin termoelektrik berkisar antara 0,3–0,5. Melalui kaji eksperimental tersebut ditemukan potensi peningkatan performa alat dengan memperbaiki kontak termal modul termoelektrik serta efektifitas dari heat exchanger.

Riyanto, Yoewono, mengembangkan alat pendingin minuman portable pada tahun 2007. Alat yang dihasilkan mampu mendinginkan minuman kotak dengan daya masukan 23 watt pada voltase 7,5 V. Namun posisi peletakan modul termoelektrik dibagian bawah belum menghasilkan distribusi temperatur yang seragam.

Salah dkk, 2009, Melakukan penelitian mengenai pengembangan TEC (*Thermoelectric Cooling*) untuk pendinginan komersial. Salah satu aplikasi yang di kembangkan adalah penggunaan pendingin termoelektrik memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi pada daerah terpencil.

Selain itu pada penelitian Akmal dan Aziz, 2014, analisis performansi *thermoelectric cooling box portable* menggunakan elemen peltier dengan susunan cascade menyatakan bahwa ada beberapa parameter yang mempengaruhi pendinginan yaitu semakin banyak jumlah cascade aktif maka semakin rendah temperatur yang dicapai serta semakin besar input daya yang dibutuhkan.

Matthew Barry dkk, 2014, melakukan penelitian mengenai *mini refrigerator*, menggunakan *heat sink*, menganalisa kinerja TEC yang terintegrasi dengan penukar kalor.

Zhao dan Tan, 2014, melakukan penelitian mengenai potensi penggunaan modul TEC, bahan dasar TEC, pemodelan dan aplikasinya untuk kebutuhan pendinginan skala kecil.

Aziz dkk pada tahun 2015 melakukan penelitian mengenai aplikasi modul termoelektrik sebagai pendingin kotak minuman. Dengan variasi jumlah modul termoelektrik dan variasi penggunaan *fan* disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah modul termoelektrik dan dengan penggunaan *fan* maka pendinginan yang dihasilkan semakin baik. Kotak pendingin minuman dapat mencapai temperatur 14,3 °C jika diuji tanpa menggunakan beban pendingin.

Mainil dkk pada tahun 2015 melakukan penelitian mengenai penggunaan modul termoelektrik pada modifikasi kotak dispenser air minum. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa temperatur *box* pendingin dapat mencapai temperatur 14,6 °C dalam waktu 36 menit.

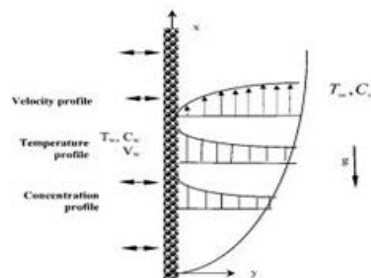
Penggunaan sistem pendingin elektrik sampai saat ini secara teknis dan komersil masih terbatas penggunaannya. Sistem ini kurang efektif dalam membuang kalor dalam jumlah yang cukup banyak dari modul Peltier (alat untuk menghasilkan efek pendinginan) untuk pendinginan dengan teknologi pemindah kalor yang sudah ada. Kinerja termal dari sistem pemindah panas konvensional tidak begitu bagus dalam memindahkan panas atau mendinginkan modul termoelektrik akibat tahanan termalnya yang cukup tinggi.

Rata-rata modul pendingin termoelektrik terbaik yang dijual secara komersil mempunyai tahanan termal 0,14–1,5 K/W (Mainil dkk, 2015). Halangan pembuangan panas timbul akibat tahanan termal yang tinggi sehingga menyebabkan modul peltier beroperasi pada temperatur yang agak tinggi akibatnya modul menjadi *overheat* dan dapat rusak dengan meningkatnya beban panas (*heat loads*). Penggunaan pendingin termoelektrik secara komersil diaplikasikan pada peralatan dengan beban kalor yang kecil seperti : pendingin CPU komputer, unit *cold storage* penyimpan obat-obatan, sistem pendingin akurarium, pendingin minuman.

Pada penelitian ini modul termoelektrik digunakan sebagai elemen pendingin untuk mendinginkan sebuah ruangan pendingin minuman *portable*. Jumlah modul pendingin yang digunakan serta beban kalor ruangan pendingin dan cara pendinginan akan mempengaruhi kinerja pendinginan yang dihasilkan. Kalor yang diserap pada sisi dingin ditransfer pada sisi panas yang kemudian dibuang menggunakan *heat sink* yang digabungkan dengan fan pendingin untuk mempercepat proses penyerapan atau pembuangan kalor (konveksi paksa). Sebuah blok aluminium digunakan untuk menghasilkan proses penyerapan kalor yang lebih baik dari sisi dingin.

2.1 Analisa Perpindahan Panas Pada Sistem Pendingin Termoelektrik

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir (bergerak) atau sebaliknya, diantara keduanya terdapat perbedaan temperature (**Gambar 3**). Pergerakan fluida ditimbulkan oleh adanya *bouyancy* dari perubahan densitas fluida akibat perbedaan temperatur yang disebut konveksi bebas. Sedangkan pergerakan fluida akibat gaya dari luar seperti tiupan atau hisapan dari pompa, fan, kompressor dan lainnya disebut konveksi paksa.



Gambar 2.3 Perpindahan panas konveksi (Cengel, 2011)

Persamaan perpindahan panas konveksi dikenal sebagai hukum Newton untuk pendinginan (*Newton's Law of Cooling*) yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

Jika $T_s > T_\infty$ maka :

$$\dot{Q}_{conv} = h.A (T_s - T_\infty)$$

1

Dimana :

\dot{Q}_{conv}	: Laju perpindahan panas konveksi	(Watt)
h	: Koefisien perpindahan panas konveksi	(W/m ² . °C)
A	: Luas permukaan perpindahan panas	(m ²)
T_s	: Temperatur fluida	(°C)
T_∞	: Temperatur permukaan	(°C)

Besarnya perpindahan panas konveksi juga ditentukan oleh besarnya koefisien perpindahan panas konveksi (h) yang tergantung dari dimensi dan kondisi aliran. Kondisi aliran untuk konveksi alami ditentukan dari *Rayleigh Number* (Ra_L) yaitu perkalian antara *Grashof Number* (Gr_L) dengan *Prandtl Number* (Pr), sehingga secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

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

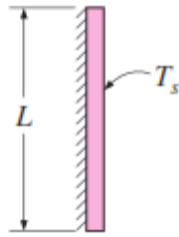
Dimana :

g	: Percepatan gravitasi	(m/s ²)
β	: Koefisien ekspansi volume	(1/°C)
T_s	: Temperatur fluida	(°C)
T_∞	: Temperatur permukaan	(°C)
L	: Panjang karakteristik	(m)
ν	: Viskositas kinematik fluida	(m ² /s)
Pr	: Nilai Prandtl	
Ra_L	: Nilai Rayleigh	

Apabila $Ra_L > 10^9$ aliran adalah turbulen ; $Ra_L \approx 10^9$ kondisi kritis ; dan $Ra_L < 10^9$ aliran adalah laminar.

Untuk perpindahan panas konveksi alami pada plat datar vertical (Gambar 2.4) *Nusselt Number* ditentukan dengan persamaan :

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{[1 + (0,429 / Pr)^{\frac{1}{4}}]^{\frac{1}{4}}} Pr \right]^2 \quad 3$$



Gambar 2.4 Pelat datar vertikal (Cengel, 2011)

Sedangkan untuk perpindahan panas konveksi alami pada plat datar horizontal penentuan harga *Nusselt Number* dibagi menjadi dua :

Untuk plat horizontal dengan arah perpindahan panas ke atas,

$$Nu = 0,54 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \text{ untuk } 10^4 < Ra_L < 10^7 \quad 4$$

$$Nu = 0,15 \cdot Ra_L^{\frac{1}{3}} \text{ untuk } 10^7 < Ra_L < 10^{11} \quad 5$$



Gambar 2.5 Pelat datar horizontal dengan perpindahan panas ke atas (Cengel, 2011)

Untuk pelat horizontal (Gambar 2.6) dengan arah perpindahan panas ke bawah,

$$Nu = 0,27 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \text{ untuk } 10^5 < Ra_L < 10^{11} \quad 6$$



Gambar 2.6 Pelat datar horizontal dengan perpindahan panas ke bawah (Cengel, 2011)

Koefisien perpindahan panas konveksi (h) ditentukan dengan *Nusselt Number* (Nu).

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad \text{sehingga} \quad h = \frac{k}{L_c} Nu \quad 7$$

Dimana :

Nu : Nusselt number

h : Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

k : Konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot ^\circ C$)

L_c : Panjang karakteristik (m)

2.2 Beban Panas Alat Pendingin Termoelektrik

Beban panas dari luar berasal dari konduksi udara luar dengan dinding (Gambar 2.7). Besarnya beban panas dari luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t \quad 8$$

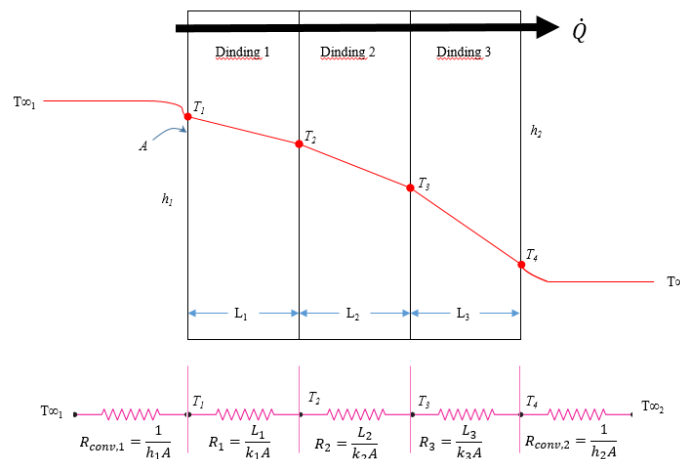
Dimana:

Q : Jumlah panas yang dipindahkan (Watt)

A : Luas Permukaan (m^2)

U : Angka koefisien perpindahan panas ($Watt/ m^2 \cdot ^\circ C$)

Δt : Perbedaan temperatur ($^\circ C$)



Gambar 2.7 Susunan seri dinding dan padanan hambatan termal pada dinding datar (Cengel, 2011)

2.3 Perhitungan Pendingin Termoelektrik

Bahan TEC adalah semikonduktor yang merupakan benda padat atau logam yang mempunyai nilai-nilai diantaranya nilai resistansi konduktor dan isolator. *Cold junction* akan menyerap panas dari produk yang dikondisikan. Bagian ini sama fungsinya dengan evaporator pada sistem pendinginan kompresi uap. *Hot junction* yang mengeluarkan atau membuang panas ke luar, bagian ini sama fungsinya dengan kondenser. Sama halnya dengan kondenser yang menggunakan sirip-sirip untuk mempercepat pembuangan panasnya, termoelektrik pada sisi *hot junction* juga ditambahkan dengan *heat sink* untuk mempercepat proses pembuangan panas.

Beban pendinginan yang dimaksud dalam analisis ini adalah beban panas yang berasal dari produk yang didinginkan dan beban panas dari luar yang harus diatasi oleh sistem untuk mencapai temperatur yang diinginkan. Beban pendinginan dari suatu ruangan akan menentukan kapasitas dari mesin pendingin yang digunakan. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menghitung beban pendinginan dari suatu ruangan pendingin yaitu, perbedaan temperatur ruangan yang akan dikondisikan dengan tempertur luar, struktur bahan yang dipakai dalam perancangan, produk yang akan didinginkan serta hal-hal lainnya yang mempengaruhi beban pendinginan.

Pengaplikasian termoelektrik yang tepat, bergantung pada tiga parameter. Parameter ini yaitu temperatur permukaan panas (T_h), temperatur permukaan dingin (T_c), dan *heat load* yang diserap permukaan dingin (Q_c). Sisi panas termoelektrik yaitu sisi terjadinya pelepasan kalor ketika arus DC dialirkan.

$$Q_h = S.I.T_h + \frac{1}{2}.I^2.R - K_t(T_h - T_c) \quad 9$$

$$Q_c = S.I.T_c - \frac{1}{2}.I^2.R - K_t(T_h - T_c) \quad 10$$

Keterangan :

Q_h	: Jumlah kalor yang dilepas disis panas termoelektrik	(W)
Q_c	: Jumlah kalor yang diserap dari sisi dingin	(W)
S	: Koefisien seebeck	(Volt /K)
I	: Kuat arus	(A)
R	: Tahanan termal termoelektrik	(Ohm)

K_t : Konduktivitas termal modul termoelektrik (W/K)

Untuk mencari nilai koefisien *seebeck*, konduktivitas termal termoelektrik, dan COP pada sebuah termoelektrik dapat menggunakan persamaan berikut.

$$S = \frac{V_m}{T_h} \quad 11$$

$$K_t = V \cdot I \cdot \frac{T_c}{2 \cdot T_h \cdot \Delta T} \quad 12$$

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad 13$$

Dimana:

V : Tegangan Listrik (V)

I : Kuat Arus (A)

ΔT : Perbedaan temperatur ($^{\circ}C$)

COP : Coefficient of Performance

P_{in} : Daya input (W)

2.4 Kerangka Pemikiran

Perlunya untuk mengetahui performance dari kotak pendingin dengan membandingkan kotak pendingin saat diberikan beban dan tanpa beban serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai waktu stasioner maka dilakukanlah penelitian ini. Diharapkan dengan penelitian ini dapat menjadi saran tindak lanjut untuk melakukan optimalisasi alat *box cooler* sehingga untuk penelitian yang akan datang alat ini memiliki performansi yang semakin baik.