

RANCANG BANGUN KULKAS MINI TERMoeLEKTRIK

Yusril Ihza¹, Widiyatmoko¹, Almadora Anwar Sani²

¹Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Sekayu,

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

E-mail: wididasyat@gmail.com

ABSTRAK

Mesin pendingin ramah lingkungan dibutuhkan guna mengurangi dampak buruk dari refrigeran. Tujuan dari rancang bangun kulkas mini termoelektrik adalah merancang sistem pendingin termoelektrik, merakit sistem pendingin termoelektrik dan menguji kulkas mini termoelektrik. Langkah rancang bangun kulkas mini dimulai dari menghitung beban pendingin, menentukan desain alat, dan menentukan komponen-komponen utama kulkas mini termoelektrik. Merakit kulkas mini termoelektrik dilakukan agar dapat memvalidasi kulkas mini termoelektrik. Kemudian menguji performa kulkas mini termoelektrik dengan cara mengambil data suhu lingkungan, suhu kabin, suhu sisi dingin termoelektrik, suhu panas termoelektrik, mengukur arus dan tegangan listrik yang masuk ke peltier. Dari hasil penelitian didapatkan perhitungan beban transmisi 1,55 Watt, beban produk adalah 13,8125 Watt, hasil perhitungan beban infiltrasi adalah 0,063 Watt, dan hasil total beban pendingin adalah 15,43 Watt, sedangkan COP kulkas mini termoelektrik adalah 0.067.

Kata Kunci: *rancang bangun, termoelektrik, beban pendingin, COP*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini manusia di seluruh dunia selalu berusaha mendapatkan cara terbaik dalam hal mengamankan pasokan energi yang berkelanjutan dan menjaga kelestarian lingkungan. Salah satu upaya penghematan energi dan penjagaan terhadap lingkungan adalah menggunakan teknologi termoelektrik.

Adapun kerja termoelektrik sebagai berikut, jika 2 buah semikonduktor yang berbeda jenis P dan N disatukan membentuk 2 buah junction. Semikonduktor P mempunyai harga α_P (*thermoelectric power*) yang positif, dan semikonduktor N mempunyai harga α_N yang negatif. Pada tiap junction dipasang piringan *non-metal* sebagai permukaan perpindahan panas. Salah satu permukaan akan menyerap kalor (*cold junction*), bertindak mirip evaporator pada sistem kompresi uap. Sedangkan Hot Junction akan melepaskan kalor ke udara lingkungan sekitar mirip fungsinya dengan kondensor pada sistem kompresi uap. (Lukitobudi, A.R., 2010).

Potensi termoelektrik perlu dioptimalkan. Salah satunya adalah pembuatan kulkas mini termoelektrik. Sehingga diperkan penelitian tentang rancang bangun kulkas mini termoelektrik

1.2. Tujuan Penelitian

- 1.) Menghitung total beban pendingin kulkas mini termoelektrik

- 2.) Mendesain dan merakit kulkas mini termoelektrik
- 3.) Mengetahui COP kulkas mini termoelektrik

2. Tinjauan 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.

2.1.1. Efek Seebeck

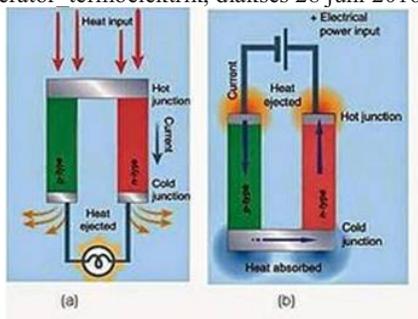
Efek seebeck merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur di antara kedua sambungan ini, maka akan terjadi arus

listrik akan terjadi. Prinsip ini lah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik). Setiap bahan memiliki koefisien seebeck yang berbeda-beda. Semakin besar koefisien seebeck ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperature yang dinamakan thermocouple.

2.1.2. Efek Peltier

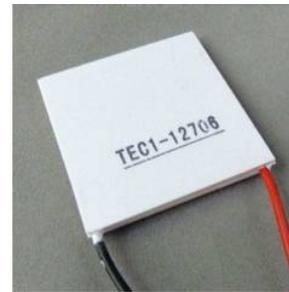
Kebalikan dari dari efek Seebeck, yaitu jika dua logam yang berbeda disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor. Prinsip inilah yang digunakan termoelektrik sebagai pendingin/pompa kalor.

Termoelektrik (Gambar 1) terdiri dari dua buah bahan berbeda yang disambubngkan. Material yang dipilih memiliki koefisien seebeck cukup tinggi. Saat ini kebanyakan termoelektrik menggunakan Bismuth-Telluride sebagai bahan pembuatnya. (https://id.wikipedia.org/wiki/Generator_termoelektrik, diakses 28 juni 2016)



Gambar 1. (a) Termoelektrik sebagai generator listrik, (b) Generator sebagai pendingin/pompa kalor . (Sumber: <http://www.idtechex.com/>, diakses 28 juni 2016)

Perangkat modul termoelektrik yang dijual biasanya berbentuk plat tipis (Gambar 2). Salah satu termoelektrik yang dapat dengan mudah kita dapatkan berukuran 40 mm x 40 mm dengan ketebalan 3 mm dan terdapat dua buah kabel (biasanya merah dan hitam). Jika di antara kedua permukaan termoelektrik terapat perbedaan temperatur maka tegangan listrik dihasilkan dan tegangan tersebut dapat kita ukur melalui dua kabel termoelektrik dengan menggunakan voltmeter. Jika perbedaan temperatur cukup besar, maka termoelektrik dapat menghidupkan sebuah lampu LED kecil. Listrik yang dihasilkan pada thermoelectric generator adalah listrik searah (DC). (https://id.wikipedia.org/wiki/Generator_termoelektrik, diakses 28 juni 2016)



Gambar 2 Peltier TECI-12706 (Sumber:<http://i01.i.aliimg.com>, diakses 28 juni 2016)

Sebaliknya jika modul termoelektrik ini diberi tegangan maka akan terjadi perbedaan temperatur antar permukaan yang satu dengan yang lain. Tegangan ini akan meyebabkan adanya aliran arus yang melalui bahan termoelektrik sehingga terjadi efek peltier. Fenomena inilah yang disebut dengan pompa kalor. Jika dibandingkan dengan teknologi refrigerasi kompresi uap, termoelektrik memiliki berbagai macam kelebihan antara lain: Pemanas atau pendingin dapat dengan mudah diatur dengan menyesuaikan arah arusnya, sangat ringkas, tidak berisik, tidak butuh perawatan khusus, tidak butuh refrigeran (Freon), tidak ada getaran. Walau bagaimanapun juga, termoelektrik masih memiliki kekurangan yaitu performanya masih rendah.

2.1.3 Prinsip Kerja Termoelektrik

Ketika peltier di alirkan arus listrik, elektron – elektron pada mengalir dari kutub negatif ke kutub positif dalam rangkaian. Elektron dari material yang kekurangan elektron (*P – Type Semiconductor*) berpindah ke material yang kelebihan elektron (*N – Type Semiconductor*). Dalam keadaan ini, konektor akan menyerap energi sehingga sisi ini akan bersuhu dingin. Di sisi lain, ketika elektron berpindah dari tipe - n ke tipe - p , konektor akan melepaskan energi sehingga pada sisi ini akan bersuhu panas (Gambar 3). (W., 2015).



Gambar 3. Modul pendingin termoelektrik (Wilsen, S., 2015)

Hasilnya, nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap di sisi

dingin ditambah dengan daya yang diberikan ke modul termoelektrik.

$$q_h = q_c + P_{in} \dots\dots\dots (1)$$

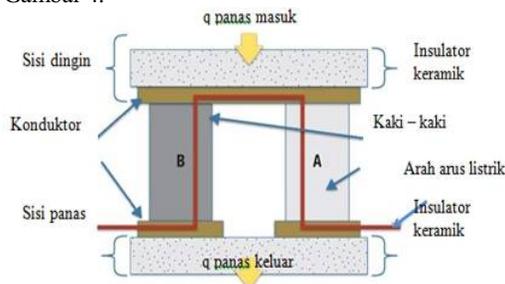
Dimana,

q_h = kalor dilepaskan pada bagian sisi panas elemen *Peltier* (Watt)

q_c = kalor diserap pada bagian sisi dingin elemen *Peltier* (Watt)

P_{in} = daya input (Watt)

Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin dan dilepas pada sisi panas bergantung pada koefisien *Peltier* dan arus listrik yang digunakan. Pada saat dioperasikan jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin akan berkurang dikarenakan dua faktor, yaitu kalor yang terbentuk pada material semikonduktor dikarenakan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas modul dan *Joule Heat* yang nilainya akan sama dengan kuadrat dari arus listrik yang digunakan. Arah dari aliran listrik yang terjadi di termoelektrik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Arah arus listrik yang menimbulkan panas dan dingin (Wilsen, S., 2015)

Apabila pada kedua konduktor yang berada di ujung-ujung untai diberikan tegangan DC (Gambar 4), maka arus listrik akan mengalir dari sumber tegangan yang berpotensi positif, melalui semikonduktor tipe N lalu ke semikonduktor tipe P hingga berakhir di sumber tegangan yang berpotensi negatif. Arah aliran elektron akan berkebalikan dengannya. feknnya adalah di bagian sisi atas di mana terjadi pertemuan antara semikonduktor tipe N dan semikonduktor tipe P (melalui perantara logam konduktor) panas diabsorpsi sehingga di bagian sisi ini efeknya adalah timbulnya dingin. Sedangkan di bagian sisi bawah yang timbul adalah kebalikannya, yaitu panas.

2.1.4 Peredam panas (Heat Sink)

Sistem pendingin termoelektrik yang baik tidak terlepas dari alat pendamping yang bagus yaitu peredam panas. Desain dan pemilihan peredam panas sangat krusial dan mempengaruhi secara keseluruhan pada sistem kerja termoelektrik dalam mempercepat laju pendinginan.

Peredam panas yang optimal akan meningkatkan *coefficient of performance* dari sistem pendingin termoelektrik. Hal ini dapat dilakukan dengan memaksimalkan luas permukaan atau menggunakan peredam panas yang mempunyai kapasitas penyimpanan kalor yang besar sehingga dapat menjaga peredam panas pada temperatur rendah.

1.) Extruded Heat Sink

Extruded heat sink terbuat dari alumunium dan mempunyai sifat-sifat perpindahan kalor yang baik dikarenakan memiliki bidang permukaan yang luas.



Gambar 5 *Extruded Heat Sink.* (Wilsen, S., 2015)

2.) Folded Fin Heat Sink

Lembaran logam yang terlipat dipasang (disolder atau dilem dengan menggunakan minyak konduksi kalor *adhesive* khusus) di dasar peredam panas.



Gambar 6. *Folded Fin Heat Sink* (Wilsen, S., 2015)

3.) Cold-Forged Heatsink

Teknologi *cold pressing* memungkinkan tidak hanya pada pembuatan sirip bentuk *rectangular* tetapi juga pin. Peredam panas seperti ini sebagian besar terbuat dari material alumunium.



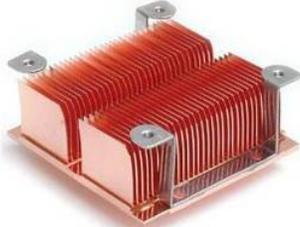
Gambar 7 *Cold Forged Heat Sink* (Wilsen S., 2015)

- 4.) **Bonded/Fabricated Fin Heatsink**
 Peredam panas ini sangat mirip dengan *folded fin heat sink*, tetapi permukaan sirip tidak terbuat dari satu lembar logam melainkan plat-plat tipis terpisah yang disolder atau dilas terhadap peredam panas.



Gambar 8. *Bonded/Fabricated Heat Sink* (Wilsen, S., 2015)

- 5.) **Skived Fin Heatsink**
 Keefektifan termal peredam panas ini adalah yang paling baik. Aluminium dan tembaga adalah material utama. (Wilsen, S., 2015)



Gambar 9. *Skived Fin Heat Sink* (Wilsen, S., 2015)

2.2. Perhitungan Beban Pendingin

Sumber utama beban pendingin yakni :

- 1.) Beban kalor konduksi melalui dinding dan atap pada sistem pendingin (termoelektrik).
- 2.) Beban panas produk yang akan diletakkan di dalam termoelektrik.
- 3.) Beban Infiltrasi

2.2.1. Perhitungan Beban Kalor Konduksi

Beban kalor konduksi adalah suatu panas dari luar pendingin yang berpindah melalui dinding, atap, maupun lantai. (ASHRAE, 2006. chapter 13.) Persamaan untuk mencari beban transmisi :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- Q = beban panas yang mengalir (W)
- U = koefisien perpindahan panas menyeluruh W/(m².K)
- A = luas permukaan bagian luar (m²)
- ΔT = perbedaan suhu (K)
- $U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots (4)$

Keterangan:

- h_i = koefisien panas daya konduksi dinding bagian dalam W/(m².K)
- h_o = koefisien panas daya konduksi dinding bagian luar W/(m².K)

- x = tebal dinding (m)
- k = konduktivitas thermal (W/m.K)

2.2.2. Perhitungan Beban Produk

Beban produk adalah beban panas dari sebuah produk dari temperatur awal ke titik beku suatu produk tersebut. Perhitungan beban produk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan. Produk digunakan dalam perancangan kulkas mini termoelektrik adalah berjenis minuman kalaleng yang mana akan didinginkan antara suhu 15°C-20°C dengan jumlah 6 minuman kaleng dengan kapasitas perkaleng 250 ml. Di bawah ini adalah rumus dalam mencari beban produk dalam sistem refrigerasi. (ASHRAE, 2006. chapter 13)

- 1) Panas yang dibuang dari temperatur awal ke temperatur dingin (diatas titik beku produk) sebagai berikut:
 $Q_1 = m \cdot c_1 (t_1 - t_2) \dots\dots\dots (5)$
- 2) Panas yang dibuang dari temperatur dingin produk ke titik beku produk (Q_{sensible}) sebagai berikut :
 $Q_2 = m \cdot c_1 (t_1 - t_f) \dots\dots\dots (6)$
- 3) Panas yang dibuang untuk membekukan produk (Q_{latent}) sebagai berikut :
 $Q_3 = m \cdot h_{if} \dots\dots\dots (7)$
- 4) Panas yang dibuang dari titik beku ke temperatur akhir yang diinginkan sebagai berikut :
 $Q_4 = m \cdot c_2 (t_f - t_3) \dots\dots\dots (8)$

Keterangan :

- Q₁, Q₂, Q₃, Q₄ = panas yang dibuang, (kJ)
- m = massa produk (kg)
- c₁ = specific heat of product above freezing kJ/ (kg.K)
- c₂ = specific heat of product below freezing kJ/ (kg.K)
- t₁ = initial temperature of product above freezing (°C)
- t₂ = lower temperature of product above freezing (°C)
- t₃ = final temperature of product below freezing (°C)
- t_f = freezing temperature of product (°C)
- h_{if} = latent heat of fusion of product kJ/kg
- Q_{produk} = (Q_{above} + Q_{below} + Q_{laten}) / waktu pendinginan (9)

2.2.3. Perhitungan Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi dalah beban panas yang terjadi karena adanya pertukaran udara. Udara yang telah dingin didalam *showcase* akan keluar dan udara lingkungan akan masuk ke dalam *showcase*. Beban ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_t = q \cdot Dt \cdot Df \cdot (1 - E) \dots\dots\dots (10)$$

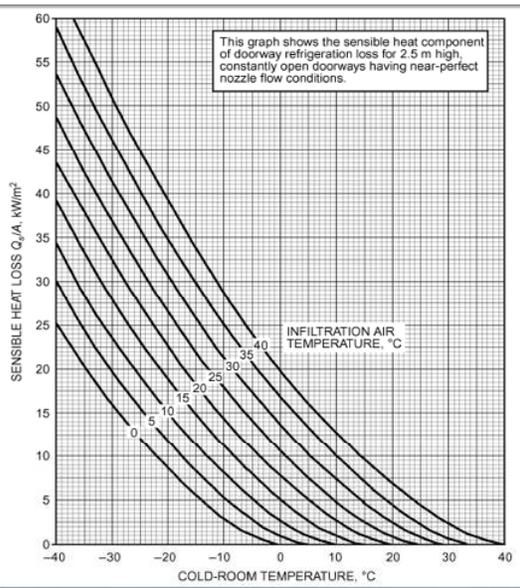
Keterangan:

- Q_t = rata-rata *heat gain* untuk 24 jam (kW)
- q = beban pendingin sensibel dan laten untuk aliran secara menyeluruh (kW)
- Dt = faktor waktu pintu terbuka
- Df = doorway flow factor(0.8)
- E = effectiveness of doorway protective device(0.95)

Tabel 1. Thermal Properties of Food (baker's)

Food Item	Moisture Content, Protein, Fat, %			Carbohydrate			Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
	x_w	x_p	x_f	Total, %	Fiber, %	Ash, %				
Cranberry-grape juice drink	85.60	0.20	0.10	14.00	0.10	0.10	—	3.81	1.80	286
Fruit punch drink	88.00	0.0	0.0	11.90	0.10	0.10	—	3.87	1.78	294
Club soda	99.90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	—	4.17	1.63	334
Cola	89.40	0.0	0.0	10.40	0.0	0.10	—	3.90	1.76	299
Cream soda	86.70	0.0	0.0	13.30	0.0	0.10	—	3.83	1.79	290
Ginger ale	91.20	0.0	0.0	8.70	0.0	0.0	—	3.95	1.73	305

(Sumber : Ashrae, 2006, chapter 13)



Gambar 10. Sensible Heat Gain by Air Exchange for Continuously Open Door with Fully Established Flow (Ashrae, 2006. chapter 13)

$$Dt = \frac{(P\theta p + 60\theta o)}{3600\theta d} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

- Dt = decimal portion of time doorway is open
- P = jumlah pintu
- θp = waktu pintu terbuka dan tertutup(detik)
- θo = lama waktu pintu terbuka(menit)
- θd = waktu dalam sehari (jam)

Tabel 2. Sensible Heat Ratio Rs, for Infiltration

Outdoor Cond.		Cold Space at 90% rh Dry-Bulb Temperature, °C									
DB °C	WB rh, %	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
30	19.7	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.77	0.87	—
	21.8	0.71	0.69	0.68	0.66	0.65	0.63	0.63	0.64	0.68	0.83
	23.9	0.66	0.64	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.55	0.56	0.62
	25.8	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.48	0.49
35	19.0	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.79	0.84	0.96	—
	21.6	0.72	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66	0.67	0.68	0.72	0.86
	24.0	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.58	0.57	0.57	0.58	0.63
	26.3	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	0.50
	28.3	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.42	0.41
40	20.7	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73	0.75	0.82	0.98
	23.6	0.68	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.60	0.61	0.62	0.68
	26.2	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.52
	28.6	0.55	0.54	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.43	0.42	0.42

(ASHRAE, 2006. chapter 13)

$$q = 0.577.W.H^{1.5} (Q_s/A).(1/R_s) \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

- q = beban pendingin sensibel dan laten (kW)
- Q_s/A = beban panas sensibel infiltrasi udara per pintu terbuka. (kW/m²)
- W = lebar pintu keluar masuk (m)
- R_s = rasio panas sensibel infiltrasi udara.

2.3 Safety Factor

Umumnya, beban dihitung dengan faktor 10 % untuk memungkinkan kemungkinan perbedaan antara kriteria desain dan operasi aktual. Safety factor adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum. (Chapter 13 Refrigeration Load. Page 13.7)

$$Safety\ factor = (Q_{transmisi} + Q_{infiltrasi} + Q_{produk}) \times 10\% \dots\dots\dots (12)$$

2.4. Coefficient of Performance (COP)

Termoelektrik

COP merupakan ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin terhadap besarnya daya listrik yang masuk (Riffat,2003). Besarnya COP lebih kecil jika dibandingkan dengan COP mesin pendingin kompresi uap (Tellurex, 2010).

$$COP = \frac{Q_c}{V_{TE} I_{TE}} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

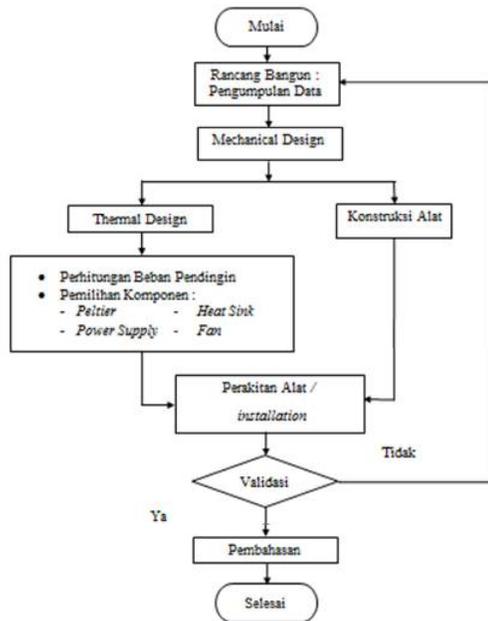
- Qc = Beban kalor pada sisi dingin modul
- $V_{TE} I_{TE}$ = Tegangan dan arus yang masuk termoelektrik

3. Metode Penelitian

Metoda yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan diagram alir pada Gambar 11. Dalam rancang bangun kulkas mini termoelektrik dilakukan langkah-langkah :

1. Pengumpulan data, meliputi :
 - a. Menentukan alternatif piltier.
 - b. Menentukan bentuk dan bahan rancangan alat pendingin.
 - c. Menentukan data sekunder
2. Perhitungan data, meliputi:

- a. Total beban pendinginan (transmisi, infiltrasi, produk, *internal* dan *safety factor*).
- b. Menentukan nilai COP kulkas mini termoelektrik menggunakan 6 buah peltier
3. Pemilihan komponen utama untuk kulkas mini termoelektrik, meliputi :
 - a. Pemilihan Feltier
 - b. Pemilihan Heat Sink
 - c. Pemilihan Fan
4. Merakit kemudian mengujinya.



Gambar 11. Diagram alir rancang bangun kulkas mini termoelektrik

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Dimensi, suhu perencanaan, dan jenis material kulkas mini termoelektrik

kulkas mini termoelektrik ini dibuat untuk penyimpanan minuman kaleng dengan total kapasitas minuman 1,5 liter, dengan spesifikasi :

- a. Dimensi ruang penyimpanan kulkas mini termoelektrik kue yaitu 27 cm x 16 cm x 15 cm dengan volume $6480 \text{ cm}^3 = 0,00648\text{m}^3$
- b. Suhu ruangan yang direncanakan yaitu $15-20^{\circ}\text{C}$
- c. Jenis material penyimpanan minuman adalah aluminium, *Styrofoam*, dan kayu

4.2. Thermal Design

Thermal Design merupakan desain termal yang masuk dalam suatu sistem.

4.2.1 Perhitungan Beban Pendingin

Perhitungan beban pendingin meliputi :

1. Beban tranmisi
2. Beban infiltrasi
3. Beban produk

4. Total beban pendingin

Berikut perhitungan masing-masing dari beban pendingin (Tabel 3) :

Tabel 3. Konduktivitas Termal Bahan

No	Nama Bahan	Tebal (m)	Konduktivitas termal W/(m.K)
1	<i>Aluminum</i>	0,001	205
2	<i>Styrofoam</i>	0,03 dan 0,8	0,033
3	<i>Wood (kayu)</i>	0,018	0,17

Diketahui :

- a. Jenis material yang digunakan pada ruang penyimpanan adalah kaca
- b. Tebal aluminium (x_1) = 0,001 m
- c. Tebal *styrofoam* (x_2) = 0.03 dan 0,08
- d. Tebal *wood* (x_3) = 0.018
- e. Temp lingk (t_o) = $32^{\circ}\text{C} = 305,15 \text{ K}$
- f. Temp simpan (t_i) = $15^{\circ}\text{C} = 288,15 \text{ K}$
- g. Nilai konduktivitas thermal aluminium (k_1)= 205 W/(m.K)
- h. Nilai konduktivitas thermal *styrofoam* (k_2)= 0,033 W/(m.K)
- i. Nilai konduktivitas thermal *wood* k_3 = 0,17 W/(m.K)
- j. Nilai koefisien panas daya konduksi dinding bagian dalam dan luar (h_i dan h_o)= 1,6 W/(m.K) (*Chapter 13 Refrigeration Load*)

1.) **Beban tranmisi**

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

U_i = koefisien perpindahan panas dinding kiri, kanan, dan depan W/(m².K)

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{1,6} + \frac{0,018}{0,17} + \frac{0,08}{0,033} + \frac{0,001}{205} + \frac{1}{1,6}}$$

$$U_1 = \frac{1}{0,625 + 0,105 + 2,42 + 0,00004878 + 0,625}$$

$$U_1 = \frac{1}{3,775}$$

$$U_1 = 0,264 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

U_2 = koefisien perpindahan panas dinding atas dan bawa W/(m².K)

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_2 = \frac{1}{\frac{1}{1,6} + \frac{0,018}{0,17} + \frac{0,03}{0,033} + \frac{0,001}{205} + \frac{1}{1,6}}$$

$$U_2 = \frac{1}{0,625 + 0,105 + 0,90 + 0,00004878 + 0,625}$$

$$U_2 = \frac{1}{2,255}$$

$$U_2 = 0,443 \text{ W(m}^2/\text{k)}$$

$$U_{total} = 0,264 \text{ W(m}^2/\text{k)} + 0,443 \text{ W(m}^2/\text{k)} = 0,707 \text{ W(m}^2/\text{k)}$$

$$\Delta T = t_o - t_i$$

$$= (31-15) \text{ K}$$

$$= 17 \text{ K}$$

Beban kalor tranmisi melalui dinding

Luas dinding sisi depan:

$$A_D = (P \times L) = 27 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$$

$$= 0,432 \text{ m}^2$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$= 0,707 \text{ W/(m}^2/\text{k)} \cdot 0,0432 \text{ m}^2 \cdot 17 \text{ K}$$

$$= 0,52 \text{ W}$$

Luas dinding sisi kiri dan dinding sisi kanan :

$$A_{KK} = 2 \cdot (P \times L) = 2 \cdot (27\text{cm} \times 15\text{cm})$$

$$= 810 \text{ cm}^2 = 0,081 \text{ m}^2$$

Luas dinding sisi atas dan dinding sisi bawah :

$$A_{AB} = 2 \cdot (P \times L) = 2 \cdot (16\text{cm} \times 15\text{cm})$$

$$= 480 \text{ cm}^2 = 0,048 \text{ m}^2$$

Luas total dinding:

$$A_{total} = 0,081 + 0,048$$

$$= 0,129 \text{ m}^2$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$= 0,707 \text{ W/(m}^2/\text{k)} \cdot 0,129 \text{ m}^2 \cdot 17 \text{ K}$$

$$= 1,55 \text{ W}$$

2.) **Beban Produk**

Dibawah ini adalah langka-langka dalam pencarian beban kalor dari produk yang akan digunakan.

Diketahui :

- a. Temperatur lingkungan = 32°C
- b. Massa produk yang direncanakan 1,5 kg
- c. Temperatur penyimpanan = 15°C
- d. Spesifikasi heat above freezing cola = 3,90 kJ/(kg.K)

Dari tabel 1, didapatkan $c_1 = 3,90 \text{ kJ/kg/kg.K}$

$$Q_1 = m \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_2) \dots\dots\dots (\text{sumber:} \text{http://www.ted.com})$$

$$Q_{cola} = 1,5 \text{ kg} \cdot 3,90 \text{ kJ/(kg.K)} \cdot (305 \text{ K} - 288 \text{ K})$$

$$Q_{cola} = 99,45 \text{ kJ}$$

$$Q_{produk} = \frac{Q_{cola}}{n \cdot (3600)}$$

$$Q_{produk} = \frac{99,45}{2 \cdot (3600)} = 0,0138125 \text{ kw} = 13,8125 \text{ W}$$

3.) **Beban Infiltrasi**

Diketahui :

$$Df = 0,8 ; E = 0,95 ; W = 0,16 \text{ m} ; H = 0,27 \text{ m} ;$$

$$Q_s/A = 6 \text{ kW/m}^2 ; R_s = 0,62$$

Penyelesaian :

$$Q_t = q \cdot Dt \cdot Df \cdot (1-E)$$

$$= 0,117 \text{ kW} \cdot 0,0135 \cdot 0,8 \cdot (1-0,95)$$

$$= 0,063 \text{ W}$$

$$q = 0,577 \cdot W \cdot H^{1,5} \cdot (Q_s / A) \cdot (1/R_s)$$

$$= 0,577 \cdot 0,15 \text{ m} \cdot (0,27 \text{ m})^{1,5} \cdot (6 \text{ kW/m}^2) \cdot (1/0,62)$$

$$= 0,117 \text{ kW}$$

$$Dt = \frac{(P \cdot \theta_p + 60 \theta_o)}{3600 \theta_d} = \frac{(1,30 + 60,6)}{3600 \cdot 8}$$

$$= 0,0135$$

4.) **Total Beban Pendingin**

Jadi jumlah kalor yg diserap pada sisi dingin termoelektrik adalah sebagai berikut:

$$Q_{total} = Q_{transmisi} + Q_{produk} + Q_{infiltrasi}$$

$$= 0,4807 \text{ W} + 0,063 \text{ W} + 13,8125 \text{ W}$$

$$= 14,356 \text{ W}$$

5.) **Perhitungan Cop Termoelektrik**

Berikut ini adalah data cop hasil pengukuran alat yang kami buat berupa kulkas mini termoelektrik.

ME	T1	T2	Tc	Th	I	V
NIT	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(A)	
60	26,1	27,1	18,9	35,8	4	12V

$$COP = \frac{Q_c}{V_{TE} I_{TE}}$$

$$Q_{cola} = m \cdot C_{pa} \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q_{cola} = 1,5 \text{ kg} \cdot 3,90 \text{ kJ/(kg.K)} \cdot (300,25 \text{ k} - 299,25 \text{ K})$$

$$Q_{cola} = 5,85 \text{ kJ}$$

$$Q_{produk} = \frac{Q_{cola}}{n \cdot (3600)}$$

$$Q_{produk} = \frac{5,85}{1 \cdot (3600)} = 0,001625 \text{ kW} = 1,625 \text{ W}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$= 0,707 \text{ W/(m}^2/\text{k)} \cdot 0,129 \text{ m}^2 \cdot 17 \text{ K}$$

$$= 1,55 \text{ W}$$

$$COP = \frac{1,625 + 1,55}{12V \cdot 4A} = \frac{3,175}{48} = 0,0661$$

4.3. **Pemilihan Komponen**

Komponen – komponen yang dipilih adalah sebagai berikut :

4.3.1. **Power supply**

power supply yang digunakan adalah 12V 10A



Gambar 12 Power Supply
(sumber: <http://www.ted.com>)
Diakses 15 juli 2016)

4.3.2. **Peltier**

Termoelektrik TEC1-12706 sangat memenuhi syarat sebagai media pendingin dengan spesifikasi sebagai berikut.

Th(°C)	27	50
ΔTmax(°C)	70	
Vmax(Voltage)	16.0	17.2
Imax(amps)	6.1	6.1
Qc max(Watts)	61.4	66.7
AC resistance(ohms)	1.8~2.2	2.0~2.4



Gambar 13. Peltier TEC1-12706
(Sumber: <http://i01.i.aliimg.com>)
diakses 28 juni 2016)

4.3.3. **Heat sink**

Heat sink yang saya gunakan adalah jenis Extruded heat sink karena mempunyai sifat-sifat perpindahan kalor yang baik.



Gambar 14. *Extruded Heat Sink*

1. *fan* (kipas)
kipas yang digunakan adalah kipas berjenis DC dengan daya 12v dan arus 0,1A.



Gambar 15. Kipas 12 v, 0,1 A

(Sumber: <http://thumbs.ebaystatic.com/images/g/6QYAAOSwBLIVbipm/s-l225.jpg>, diakses 28 juni 2016)

Gambar 4.4 *Fan* (kipas)

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan disimpulkan :

1. Beban tranmisi adalah 1,55 Watt, beban produk adalah 13,8125 Watt, beban infiltrasi adalah 0,0,63 Watt, sehingga total beban pendingin adalah adalah 15,43 Watt
2. Rancang bangun kulkas mini termoelektrik menggunakan piltier tipe TEC1-12706 dan *power supplya* 12 Volt 10 Ampere.
3. Hasil cop kulkas mini yang di dapatkan adalah 0.069.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE, 2006. ASHRE Handbook of Refrigeration American society of heating. Refrigeration and Air Conditioning.inc.
- Wilsen, S, 2015. Rancang Bangun Kotak pendingin Yang Menggunakan Elemen Pendingin Termoelektrik Dengan Sumber Energi Surya. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Tellurex, 2010. Frequently Asked Qustions About Our Cooling And Heating Tecnologi.Traverse <http://www.idtechex.com/>. diakses 28 juni 2016
- https://id.wikipedia.org/wiki/Generator_termoelektrik (diakses 28 juni 2016)
- <http://www.ark-solaire.com> (diakses 15 febuari 2016)