

Perancangan Kotak Pendingin dan Pemanas Menggunakan Modul *Thermoelectric Cooling* Sebagai Sumber Kalor

Azridjal Aziz¹, Dani Ikhsan Saputra¹, Afdhal Kurniawan Mainil², Rahmat Iman Mainil¹

¹Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu,

Jl. WR. Supratman Kel. Kandang Limun, Kota Bengkulu, 38371, Indonesia

E-mail: azridjal.aziz@gmail.com

Abstract

Thermoelectric cooling (TEC) modules are a type of solid-state heat pump that requires a heat exchanger to reject heat as a Peltier effect. TEC are able to heat and cool by simply reversing the polarity, which changes the heat transfer direction. The cold side can be used as a cooler and the hot side can be used as a heater. The aims of this study is to design a cool and hot box that utilizing thermoelectric module as heat source by determining the required power and selecting the best design. The stages of selecting the cool and hot box design are to analyze the heat load, comparing of mass of box, electrical power comparison, and the number of TEC modules used to determine the optimum design of the cool and hot box. The design results obtained space of cool and hot box with dimensions: 0.26 m x 0.20 m x 0.15 m where the thickness of cooling box polyurethane foam insulator is 25.7 mm, and the thickness of hot box insulator is 15.3 mm. The power required to cool beverages for 30 minutes with the cool box temperature 15 °C is 86.07 W.

Keywords: thermoelectric, Peltier, cooling, box

Abstrak

Modul thermoelectric cooling (TEC) adalah salah satu jenis pompa kalor berbentuk padatan (solid-state) yang membutuhkan penukar kalor untuk membuang kalor sebagai efek Peltier. Termoelektrik dapat memanaskan dan mendinginkan hanya dengan membalikkan polaritas, yang mengubah arah perpindahan kalor. Sisi yang dingin dapat digunakan sebagai pendingin dan sisi yang panas dapat digunakan sebagai pemanas. Penelitian ini bertujuan merancang kotak pendingin dan pemanas yang memanfaatkan modul termoelektrik sebagai sumber kalornya dengan menentukan daya yang dibutuhkan dan pemilihan rancangan terbaik. Tahapan pemilihan rancangan kotak pendingin dan pemanas (cool and hot box) adalah melakukan analisa beban kalor, perbandingan massa, perbandingan daya listrik, dan jumlah modul TEC yang digunakan, untuk menentukan desain optimum kotak pendingin dan pemanas. Hasil rancangan diperoleh ruang kotak pendingin dan pemanas dengan dimensi: 0,26 m x 0,20 m x 0.15 m dengan ketebalan polyurethane foam 25,7 mm sebagai isolator kotak pendingin, dan ketebalan 15,3 mm untuk isolator box pemanas. Daya yang dibutuhkan untuk mendinginkan minuman selama 30 menit dengan target temperatur ruang pendingin 15 °C adalah sebesar 86,07 W.

Keywords: thermoelectric, Peltier, cooling, box.

PENDAHULUAN

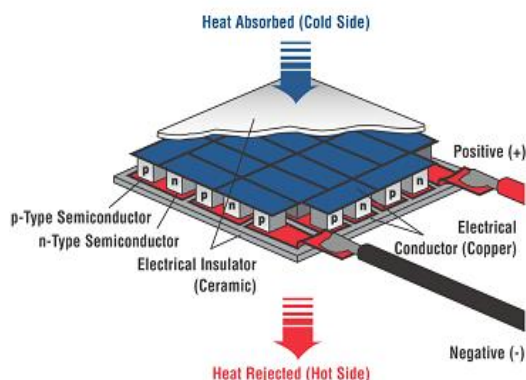
Mesin pendingin yang menggunakan senyawa CFC (*Chloro Fluoro Carbon*) untuk pendinginannya merupakan salah satu penyumbang pemanasan global selain dari Gas Rumah Kaca (GRC). Gas Rumah Kaca (GRC) merupakan zat-zat pencemar yang berasal dari industri maupun domestik, zat-zat inilah yang bereaksi dengan lapisan ozon yang mengakibatkan perusakan ozon. Hasil penelitian membuktikan CFC menyumbang 15%-20% terhadap

pemanasan global yang mengakibatkan naiknya temperatur bumi sehingga bisa mencairkan es di kutub, naiknya permukaan air laut dan dapat mengakibatkan beberapa daerah yang dekat dengan pantai akan tenggelam [1].

Mesin pendingin alternatif sangat diperlukan untuk mengatasi penggunaan senyawa CFC yang dapat merusak lapisan ozon. Alat yang dipertimbangkan dalam aplikasinya yaitu metode yang tetap bekerja sebagai pompa kalor, namun tidak

menggunakan siklus kompresi uap seperti pada kulkas [2].

Mesin pendingin alternatif salah satunya adalah menggunakan modul *thermoelectric cooling* (TEC). Prinsip kerja modul TEC berdasarkan efek *peltier*, yaitu ketika elemen *peltier* dialiri arus listrik DC pada pasangan sel semikonduktor tipe P (yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe N (yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi) maka akan mengakibatkan salah satu sisi elemen *peltier* menjadi dingin (proses penyerapan kalor) dan sisi lainnya menjadi panas (proses pelepasan kalor ke lingkungan) seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [3].



Gambar 1. Diagram skematik sebuah modul TEC [3]

Modul TEC dalam aplikasinya telah dilakukan oleh Irwin Bizzy dan Ruri Apriansyah [4] kaleng 330 ml. Pada penelitian tersebut digunakan rangkaian seri dengan capaian temperatur 6 °C dan 9 °C dengan rangkaian paralel untuk pendinginan selama 120 menit.

Nandy dkk 2007 [5], mengembangkan *Vaccine Carrier Box* dengan pendinginan berbasis termoelektrik, yang merupakan ide baru yang didapatkan untuk memenuhi kebutuhan akan proses penyimpanan vaksin yang membutuhkan temperatur antara 2 °C -8° C [5]. Aziz dkk 2017 [6], melakukan *design of portable beverage cooler using one stage thermoelectric cooler* dengan dimensi rancangan panjang 6 cm, lebar 6,5 cm, tinggi 15 cm, dengan temperatur capaian 15 ° C pada waktu 30 menit. Mainil dkk 2018 [7] menguji kinerja thermoelectric cooler dengan variasi pada daya masukan dan beban pendinginan.

Kajian unjuk kerja penggunaan modul *thermoelectric* sebagai kotak pendingin dengan variasi laju aliran massa air pendingin telah dilakukan oleh Mintarto dkk [8]. Beberapa peneliti juga telah mengkaji kinerja *thermoelectric* pada

kotak pendingin dengan putaran fan wind tunnel [9], merancang bangun kulkas mini [10], melakukan analisa perpindahan kalor kotak pemanas dan pendingin [11], melakukan optimasi kondisi operasional pada penggunaan *thermoelectric refrigerator* [12] dan mengaplikasikan modul *thermoelectric* sebagai pendingin pada kotak minuman [13].

Penelitian melakukan kajian perancangan kotak pendingin dan sekaligus kotak pemanas dengan mengaplikasikan *thermoelectric cooling* sebagai sumber kalor pendinginan atau pemanasan. Pada penelitian ini dilakukan dengan menentukan daya yang dibutuhkan, analisa beban kalor, perbandingan massa kotak, dan jumlah TEC yang dibutuhkan untuk menentukan desain optimum untuk memilih rancangan terbaik.

METODOLOGI PENELITIAN

Sebelum pembuatan desain terlebih dahulu ditentukan tujuan dan batasan masalah pembuatan box pendingin dan pemanas minuman antara lain:

1. Bentuk dari pendingin dan pemanas sederhana yaitu berbentuk seperti kotak lebih tepatnya seperti lemari pendingin (kulkas).
2. Ruang pendingin dan pemanas memiliki bentuk kotak, dimensi yang sesuai dengan minuman kemasan dan dinding terbuat dari bahan konduktivitas tinggi untuk memperluas bidang perpindahan panas.
3. Pendingin minuman dengan massa tidak lebih dari 2 kilogram.
4. Material yang digunakan untuk membuat box pendingin dan pemanas mudah didapat dan tersedia di pasaran.
5. Pendingin dan pemanas mudah dalam pengoperasian dan aman untuk digunakan

Penentuan Material

Kotak pendingin dan pemanas dirancang berbentuk kotak agar mudah dibuat. Komponen yang harus ditentukan adalah bahan isolator dan material. Bahan isolator yang digunakan harus memiliki nilai konduktifitas termal yang rendah. Material yang digunakan mudah didapatkan, kuat dan harga material relatif murah. Beberapa alternatif material yang dapat digunakan dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1 menyajikan beberapa bahan dinding dan bahan isolator panas yang dapat digunakan untuk pembuatan kotak pendingin dan pemanas. Parameter yang disebutkan adalah 1) konduktivitas termal k , 2) massa jenis ρ dan 3) harga satuan. *Silica aurogel*

merupakan bahan yang paling bagus untuk isolator panas dan ringan (nilai ρ paling kecil), namun harganya mahal. *Styrofoam (EPS)* merupakan bahan isolator terbaik kedua setelah *silica aurogel* dan harganya murah, tetapi nilai konduktifitas termal lebih besar dibandingkan *Polyurethane foam (PU foam)*. *Polyurethane foam (PU foam)* merupakan bahan isolator panas yang memiliki harga termurah kedua setelah EPS dan berat (nilai ρ terbesar kedua setelah *cork*), sehingga mampu menahan beban dari *heatsink* dan *fan*. Berdasarkan pertimbangan sifat material, harga satuan dan kemudahan proses pembuatan maka dipilih *PU foam* sebagai bahan isolator pembuatan kotak panas dan dingin.

Tabel 1. Pemilihan Material Dinding dan Isolator (Riyanto dan Yoewono, 2010)

Material	Sifat Material	Harga /Lembar
<i>Polyurethane</i>	$k=0,02 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $\rho = 46 \text{ kg/m}^3$	\$ 3,08
<i>Styrofoam (Expanded Polystyrene Foam)</i>	$k=0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $\rho = 9 \text{ kg/m}^3$	\$ 3
<i>Silica Aurogel</i>	$k = 0,003 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $\rho = 1,9 \text{ kg/m}^3$	\$ 3700
<i>Cork (gabus)</i>	$k=0,003 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $\rho = 120 \text{ kg/m}^3$	\$19,4

Tabel 2. Perbandingan Dimensi Desain Alternatif

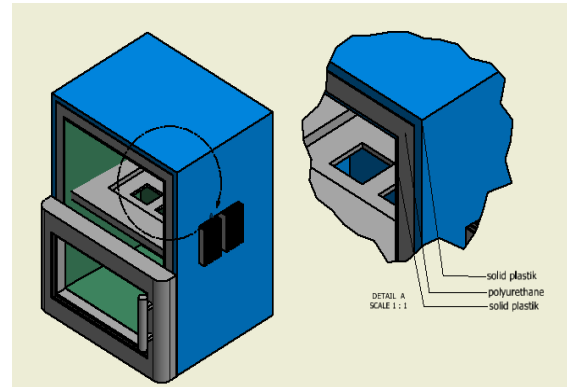
Desain	P (m)	L (m)	h (m)	Tebal PU Cool box (m)	Tebal PU Hot box (m)
1	0,26	0,15	0,20	0,017	0,0153
2	0,30	0,30	0,30	0,023	0,0172
3	0,28	0,25	0,24	0,019	0,0165
4	0,30	0,21	0,27	0,019	0,0167
5	0,25	0,25	0,25	0,019	0,0167

Penentuan Dimensi dan Pembuatan Desain

Penentuan dimensi desain harus mempertimbangkan beberapa ukuran yang ada di pasaran untuk minuman kaleng 330 ml, minuman kaleng 250 ml, air mineral 600 ml dan susu kotak

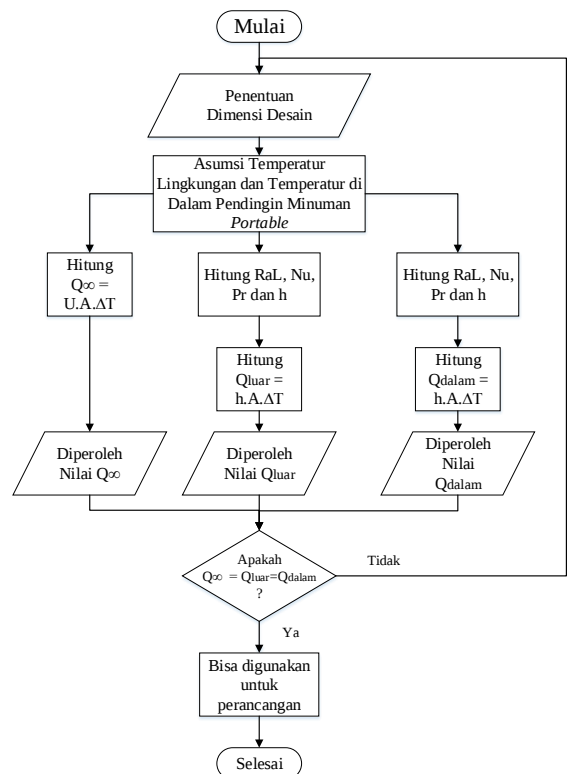
250 ml. Lima alternatif desain kotak pendingin dan pemanas disajikan di Tabel 2.

Hasil desain kotak pendingin dan pemanas yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



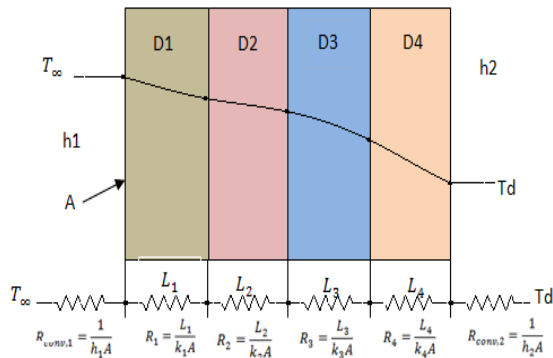
Gambar 2. Hasil desain kotak pendingin dan pemanas
Perhitungan Perpindahan Panas Desain

Perhitungan perpindahan panas dari kelima desain tersebut dengan menggunakan perangkat *software Microsoft Excel*. Tahapan-tahapan perhitungan perpindahan panas dari desain yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 1. Tahapan Perhitungan Perpindahan Panas

Beban panas dari luar Q_{∞} berasal dari konduksi udara luar dengan dinding, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Beban Panas dari Luar

Besarnya beban panas dari luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut:

$$Q_{\infty} = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

ΔT adalah perbedaan temperatur antara temperatur lingkungan (T_{∞}) dan temperatur dalam ruang pendingin (T_d). Nilai U adalah koefisien perpindahan panas total yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2 berikut.

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A} + \frac{1}{h_2 A}} \quad (2)$$

Konduktivitas termal bahan k_1, k_2 dan k_3 adalah untuk EPS, PU Foam dan aluminium dengan ketebalan masing-masing L_1, L_2 dan L_3 . Koefisien konveksi alamiah h_1 dan h_2 dihitung masing-masing dengan menggunakan persamaan 3 berikut.

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

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 *box* pendingin dan pemanas keruang pendingin. Perpindahan panas Q_{luar} dan Q_{dalam} dihitung masing-masing dengan menggunakan persamaan 4 berikut.

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (4)$$

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 5.

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_s - T_{\infty}) L^3}{\nu^2} Pr \quad (5)$$

Untuk perpindahan panas konveksi pada dinding vertikal, nilai *Nusselt Number* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 6.

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{\frac{1}{4}} Pr^{\frac{1}{4}}}{[1 + (0,429/Pr)^{\frac{1}{4}}]^{\frac{1}{4}}} \right]^2 \quad (6)$$

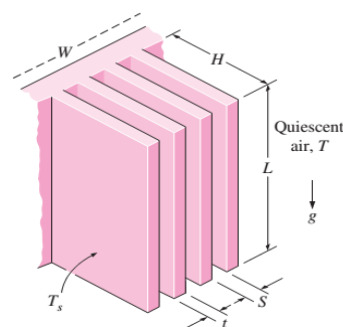
Sedangkan untuk menghitung perpindahan panas pada dinding horizontal, nilai *Nusselt Number* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 7.

$$Nu = 0,54 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \quad (7)$$

Setelah nilai *Rayleigh Number* (Ra_L) dan nilai *Nusselt Number* (Nu) diperoleh, maka nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan 8.

$$h = \frac{k}{L_c} Nu \quad (8)$$

Untuk mendapatkan nilai perpindahan panas konveksi natural dari *heatsink* diperoleh dari nilai permukaan WL. W adalah panjang dan L adalah tinggi dari sirip *heatsink* seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Dimensi dari Permukaan *Heatsink*

Untuk mendapatkan jarak optimum sirip (S_{opt})

dapat menggunakan persamaan 9 berikut

$$S_{opt} = 2,714 \frac{L}{Ra_L^{0,25}} \quad (9)$$

Nilai koefisien perpindahan panas konveksi dari *heatsink* (h) ditentukan dari nilai *Nusselt*. Nilai *Nusselt* optimum adalah konstan ketika nilai $S = S_{opt}$ yaitu sebesar 1,307. Sehingga untuk menghitung nilai koefisien perpindahan panas konveksi dari *heatsink* (h) dapat menggunakan persamaan 10.

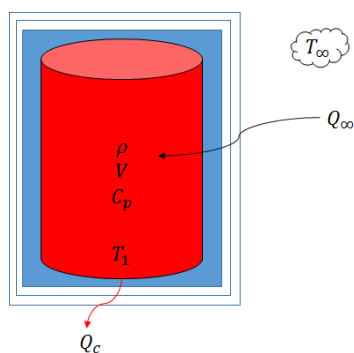
$$h = \frac{Nu \cdot k}{S_{opt}} \quad (10)$$

k adalah nilai konduktivitas termal dari temperatur *film* udara. Sehingga nilai perpindahan panas konveksi natural dari *heatsink* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11 berikut.

$$Q_{heatsink} = h(2nLH)\Delta T \quad (11)$$

n adalah jumlah sirip dari *heatsink*. H adalah panjang *heatsink* dari *base*. ΔT adalah perbedaan temperatur antara temperatur lingkungan (T_∞) dan temperatur dinding *heatsink* (T_s).

Pada kondisi transien, modul termoelektrik bukan hanya mendinginkan minuman tetapi juga mendinginkan bagian pendingin minuman yang terdiri dari ruang pendingin dan isolator dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 4. Proses pada kondisi transien

Beban termoelektrik dalam kondisi transien dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 12 berikut.

$$Q_c = \rho \cdot V \cdot C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} + Q_\infty \quad (12)$$

$\rho \cdot V \cdot C_p$ adalah penurunan energi dalam sensibel udara di dalam ruang pendingin. ΔT adalah perbedaan temperatur lingkungan (T_∞) dan temperatur air minuman kemasan yang akan didinginkan (T_1). Δt adalah waktu yang diperlukan oleh udara dalam ruang pendingin hingga mencapai temperatur 15 °C.

Perhitungan Daya

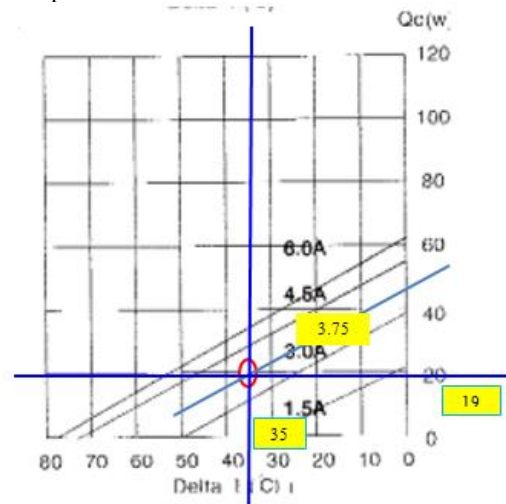
Nilai daya listrik (P) yang diperlukan untuk pendingin dan pemanas diperoleh setelah mendapatkan nilai dari energi listrik (W). Nilai energi listrik (W) diperoleh dari persamaan 13 berikut.

$$W = V_l \cdot I \cdot t \quad (13)$$

Nilai I (kuat arus) diperoleh dengan menggunakan grafik performa termoelektrik TEC1-12706. Terlebih dahulu tentukan nilai ΔT untuk sumbu x yaitu dengan persamaan 14 berikut.

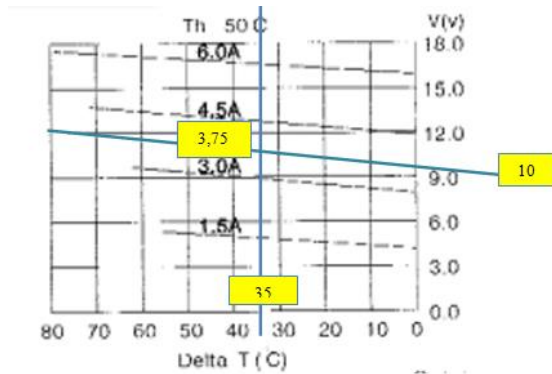
$$\Delta T = T_h - T_c \quad (14)$$

Nilai T_h adalah temperatur panas dari termoelektrik yang diperoleh dari spesifikasi TEC1-12706 yaitu 50 °C dan nilai T_c adalah temperatur dingin yang dapat dicapai oleh 1 termoelektrik TEC1-12706 dengan acuan penelitian sebelumnya yaitu 19 °C [2]. Kemudian masukkan nilai Q_c untuk sumbu y. Dapat dilihat pada Gambar 7 salah satu contoh nilai kuat arus yang diperoleh menggunakan grafik performa termoelektrik TEC1-12706.



Gambar 5. Kuat Arus (www.habei.com.cn)

Setelah diperoleh nilai I , langkah berikutnya adalah mencari nilai V_I (tegangan listrik). Masukkan nilai ΔT pada sumbu x dan nilai I pada sumbu y. Dapat dilihat pada Gambar 8 salah satu contoh nilai tegangan listrik yang diperoleh menggunakan grafik performa termoelektrik TEC1-12706.



Gambar 6. Tegangan Listrik (www.habei.com.cn)

Daya listrik yang dibutuhkan untuk pendingin minuman *portable* selama 30 menit ($t = 30 \text{ menit} = 1800 \text{ s}$) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 15 berikut.

$$P = \frac{W}{t} \quad (15)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan Desain

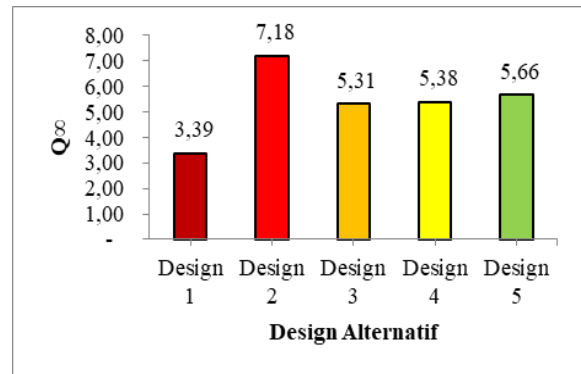
Pemilihan rancangan kotak pendingin dan pemanas diawali 1) analisa beban kalor, 2) perbandingan massa, dan 3) perbandingan daya listrik untuk menentukan desain optimum pendingin, dan 4) jumlah elemen peltier.

Beban kalor untuk pemilihan desain adalah beban panas luar yang berasal dari konduksi udara luar dengan dinding. Untuk masing-masing alternatif desain kotak pendingin dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan 5 alternatif desain kotak pendingin

Desain	Dimensi			Q_{∞} (W)	m (kg)	P (Watt)
	P (m)	L (m)	h (m)			
1	0,26	0,15	0,20	3,39	1,57	86,07
2	0,30	0,30	0,30	7,18	1,61	72,15
3	0,28	0,25	0,24	5,31	1,59	94,05
4	0,30	0,21	0,27	5,38	1,59	93,38
5	0,25	0,25	0,25	5,66	1,59	90,06

Untuk lebih jelas mengenai analisa beban kalor dari *box* dingin dari beberapa desain alternatif dapat dilihat pada Gambar 10.

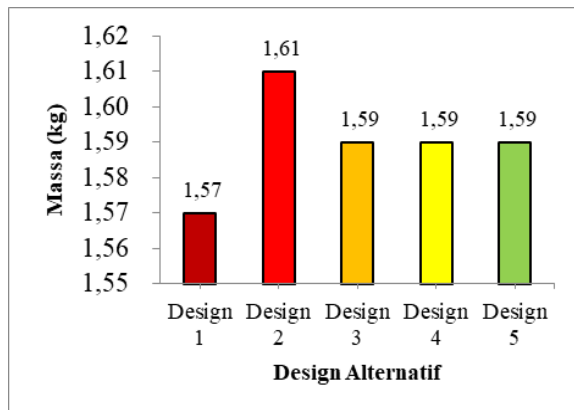


Gambar 9. Perbandingan Beban Panas Dari Luar (Q_{∞}) kotak pendingin terhadap alternatif desain

Gambar 9 menunjukkan adalah perbandingan 5 alternatif desain terhadap perpindahan panas yang terjadi dari lingkungan ke dalam kotak pendingin minuman (Q_{∞}). Dari hasil perhitungan yang diperoleh, berdasarkan dimensi ukuran, dimana dengan menjumlahkan laju perpindahan panas pada masing masing dinding. sehingga dari perhitungan yang diperoleh laju perpindahan panas total dinding yang terendah adalah desain ke-1 yaitu 3,39 W. Laju perpindahan panas yang terbesar adalah desain ke-2 yaitu 7,18 W.

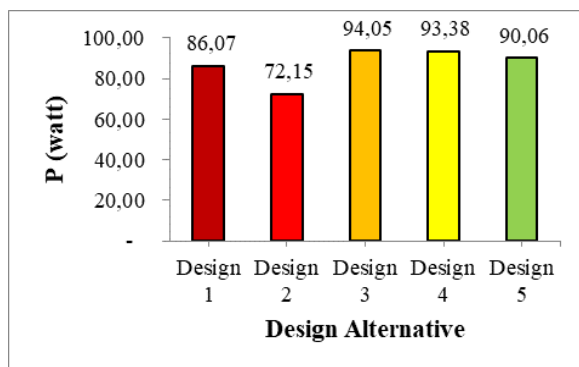
Dari kelima desain direkomendasikan desain ke-1 dipilih karena desain ke-1 nilai perpindahan panas terendah yang diterima oleh kotak pendingin. Dimana semakin rendah nilai perpindahan kalor yang terjadi dari lingkungan menuju ke dalam kotak pendingin maka temperatur dari lingkungan kurang mempengaruhi temperatur capaian didalam kotak pendingin dan alat yang dirancang dan dibuat akan semakin baik.

Gambar 10 adalah perbandingan massa terhadap ke-5 desain yang akan dipilih, desain yang terbaik untuk dirancang. Massa diperoleh dengan menjumlahkan massa dari masing masing material, *polyurethane* dan *solid* plastik. Sesuai dengan *design requirement and objective*, massa untuk pendingin tidak lebih dari 2 kg. Massa terendah diantara ke 5 desain adalah desain ke-1 yaitu 1,57 kg, sedangkan massa tertinggi adalah pada desain ke-2 yaitu 1,61 kg. Desain ke-1 direkomendasikan untuk dipilih karena memiliki nilai terendah dibandingkan dengan ke 4 desain yang lainnya.



Gambar 10. Perbandingan massa terhadap alternatif desain kotak pendingin

Gambar 11 adalah perbandingan daya terhadap alternatif disain, dimana yang akan dipilih adalah disain yang terbaik untuk dirancang. Dari hasil perhitungan daya terendah adalah pada desain ke-2 yaitu 72,15 Watt, sedangkan daya tertinggi adalah pada desain ke-3 yaitu 94,05 Watt. Desain ke-1 direkomendasikan untuk dipilih karena dari ke 5 alternatif disain dimana dimensi, nilai massa terendah, perpindahan kalor dari lingkungan ke dalam kotak pendingin dengan nilai terendah. Jumlah elemen peltier yang dipakai terendah meskipun nilai daya disain ke- 1 lebih besar sedikit dibandingkan disain ke-2 tetapi terhadap ketiga disain yang lain, lebih unggul disain 1 sehingga dipilihlah disain 1 sebagai disain terbaik.



Gambar 71. Perbandingan daya listrik terhadap alternatif disain kotak pendingin

Alternatif disain terhadap jumlah elemen peltier yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4. Perbandingan jumlah elemen peltier (n) dari kelima alternatif disain dapat diperoleh berdasarkan perhitungan dimana diantara kelima desain yang

terendah adalah desain ke-1 yaitu 1,428. Jumlah elemen peltier terbesar adalah desain ke-2 yaitu 1,445. Dari kelima desain direkomendasikan desain ke-1 dipilih karena berdasarkan konsep pada perencanaan awal, yaitu menggunakan sedikit mungkin elemen peltier agar lebih hemat konsumsi daya listrik. Hasil perhitungan desain ke-1 menggunakan elemen peltier yang paling sedikit. Permasalahan yang terjadi dilapangan jumlah elemen peltier yaitu dalam bentuk satuan sehingga dari perolehan perhitungan maka jumlah elemen peltier yang digunakan adalah 2 buah.

Tabel 4 Desain Alternatif Berdasarkan Jumlah Elemen Peltier

Desain	Dimensi			Jumlah Elemen Peltier
	P (m)	L (m)	h (m)	
1	0,26	0,15	0,20	1,428
2	0,30	0,30	0,30	1,445
3	0,28	0,25	0,24	1,437
4	0,30	0,21	0,27	1,436
5	0,25	0,25	0,25	1,444

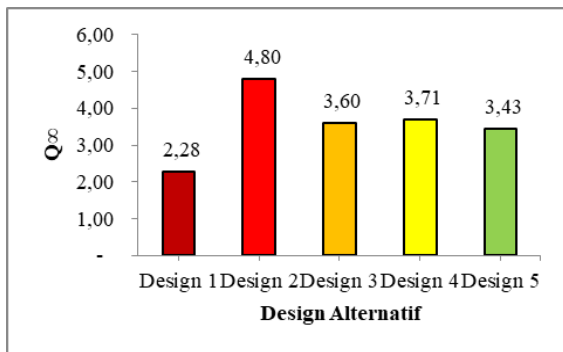
Pemilihan disain untuk alternatif disain kotak pemanas terhadap perpindahan kalor yang terjadi dan massa kotak disajikan pada Tabel 5. Pemilihan disain untuk kotak pemanas yang dibandingkan dapat lebih mudah dipelajari dengan meninjau Gambar 12 dan Gambar 13. Gambar 12 yang menunjukkan perpindahan kalor pada kotak pemanas terhadap kelima disain alternatif yang akan dipilih dan Gambar 13 yang menunjukkan massa kotak pemanas terhadap disain alternatif yang akan dipilih.

Tabel 5 Adalah Desain Alternatif Untuk Box Panas

Desain	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Q_{∞} (W)	M (kg)
1	0,26	0,15	0,2	2,28	0,88
2	0,3	0,3	0,3	4,80	0,92
3	0,28	0,25	0,24	3,60	0,90
4	0,3	0,21	0,27	3,71	0,91
5	0,25	0,25	0,25	3,43	0,90

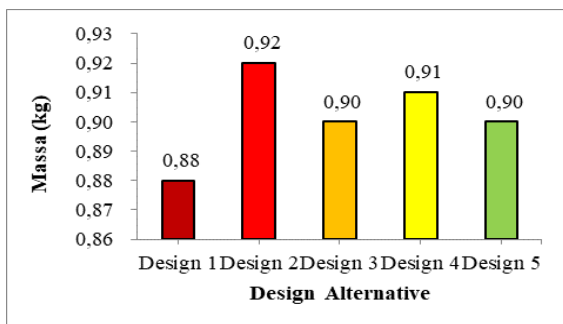
Gambar 13 adalah perbandingan perpindahan kalor (Q_{∞}) yang terjadi dari lingkungan ke dalam

kotak pemanas. Dari hasil perhitungan yang diperoleh berdasarkan dimensi ukuran, dimana dengan menjumlahkan laju perpindahan kalor pada masing masing dinding. Hasil perhitungan diperoleh laju perpindahan kalor total dinding yang terendah adalah desain ke-1 yaitu 2,28 W. Laju perpindahan kalor yang terbesar adalah desain ke-2 yaitu 4,80 W. Dari kelima disain direkomendasikan disain ke-1 untuk dipilih karena disain ke-1 nilai perpindahan kalor adalah yang terendah.



Gambar 12. Perbandingan Beban Panas Produk (Q_c) terhadap alternatif disain

Gambar 14 adalah perbandingan massa dari ke-5 desain yang akan dipilih desain yang terbaik untuk diproduksi. Massa diperoleh dengan menjumlahkan massa dari, *polyurethane*, dan *solid* plastik. Sesuai dengan *design requirement and objective*, massa untuk kotak pemanas tidak lebih dari 2 kg. Massa terendah adalah desain ke-1 yaitu 0,88 kg, sedangkan massa tertinggi adalah pada desain ke-2 yaitu 0,92 kg. Desain ke-1 direkomendasikan untuk dipilih karena memiliki nilai massa terendah.



Gambar 13. Perbandingan massa kotak pemanas terhadap alternatif disain

KESIMPULAN

Proses rancang bangun kotak pendingin dan pemanas didapatkan beberapa kesimpulan yaitu : Perancangan pendingin dan pemanas diawali dari *design requirement and objective*, pemilihan material isolasi, penentuan dimensi dan rancangan, perhitungan perpindahan kalor dari disain, perakitan alat. Daya yang dibutuhkan oleh pendingin minuman *portable* untuk mendinginkan minuman selama 30 menit adalah 86,07 W. Disain yang dipilih adalah desain ke-1 karena sesuai dengan *design requirement and objective* yaitu massa yang ringan, daya listrik rendah, jumlah kalor yang harus diserap termoelektrik rendah. Jumlah elemen peltier yang dipakai yaitu 2 buah elemen peltier.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurmaini., 2001, "Peningkatan Zat-Zat Pencemar Mengakibatkan Pemanasan Global. *Artikel*, Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [2] Umboh, R., Wuwung, J. O., Allo, E. K., dan Narasiang, B. S., 2012, "Perancangan alat pendingin *portable* menggunakan elemen *peltier*". *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. 1(3), 1-6.
- [3] *Thermoelectric Handbook*, 2020, Laird Thermal System.
- [4] Bizzy, I., dan Apriansyah, R., 2013, "Kaji Eksperimental Kotak Pendingin Minuman Kaleng dengan Termoelektrik Bersumber dari Arus DC Kendaraan dalam Rangkaian Seri dan Paralel", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XII)*, Bandar Lampung, 23 - 24 Oktober, 268-272.
- [5] Putra, N., Oktianto, A., Bariyanto, I., Yusivar, F., 2007, "Penggunaan *Heatsink* Fan sebagai Pendingin Sisi Panas Elemen Peltier pada Pengembangan *Vaccine Carrier*". *Jurnal Teknologi*. 1, Tahun XXI, 24-31.
- [6] Aziz, A., Mainil, R. I., Mainil, A. K., Syafri., dan Syukrillah, M. F., 2017, "Design of Portable Beverage Cooler using One Stage Thermoelectric Cooler (TEC) Module". *Aceh International Jurnal of Science and Technology*. 7(1), 29-36.
- [7] Mainil, A. K., Aziz, A., Mainil, R. I., dan Akmal, M., 2018, "Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Loaf (TEC) Module". *Aceh International Jurnal of Science and Technology*. 7(2), 85-92.

- [8] Mirmanto., Sutanto, R., dan Putra, D. K., 2018, “Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Variasi Laju Aliran Massa Air Pendingin”. *Jurnal Teknik Mesin*. 7(1), 44-49.
- [9] Munawir., Sasongko, M. N., dan Hamid, N., 2021, “Kinerja *Thermoelectric* pada Kotak Pendingin Berdasarkan Rangkaian *Thermoelectric* dan Putaran *Fan Wind Tunnel*”. *Rekayasa Mesin*. 12(1), 27-40.
- [10] Suryadi, A., dan Firmansya, A., 2020, “Rancang Bangun Kulkas Mini *Portable* Menggunakan Peltier”. *Jurnal Simetris*. 11(1), 11-22.
- [11] Saputra, D. I., dan Aziz, A., 2019, “Analisa Perpindahan Panas Kotak Pemanas dan Pendingin yang Menggunakan Modul Termoelektrik sebagai Sumber Kalor”. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 18(1), 32-37.
- [12] Caglar, A., 2018, “Optimization of operational conditions for a thermoelectric refrigerator and its performance analysis at optimum conditions”. *International Journal of Refrigeration*. 96, 70-77.
- [13] Aziz, A., Subroto, J., dan Silpana, V., 2015, “Aplikasi Modul Pendingin Thermoelectric sebagai Pendingin Kotak Minuman”. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 10(1), 32-38.