

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN *BLOOD COOL BOX* MENGGUNAKAN *TERMOELECTRIC PELTIER* PADA BEBAN PENDINGINAN 1 LITER

Fadilla Agusli Irwanda¹, Awaludin Martin²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km.12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

¹fadillairwanda@gmail.com, ²awaludinmartin01@gmail.com

ABSTRACT

The process of blood distribution before transfusion requires a cooling unit that is able to maintain the temperature, so that blood can be maintained and not damaged before transfusion. Peltier elements are chosen to be used as coolants in the blood cool box because they are small so they can be operated in a limited space and operate at 12 volt. The design carried out in this case is the manufacture of blood cool boxes for the distribution of blood over long distances. The peltier element is used type of TEC1 12706. The ability of the cold side of the peltier element based on the calculation results of 18.65 Watt which is used for cooling the box. The lowest blood cool box temperature is obtained from no load testing of 14.23 ° C and the maximum load of 23.22 ° C. And the lower the temperature difference between the hot side and the cold side, the higher the amount of heat absorbed, and will affect the value of the Coefficient of Performance, which will be greater if the absorbed calorific value is greater.

Keywords: Peltier Element, Blood Cool Box, Coefficient of Performance.

1. Pendahuluan

Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia memiliki lebih kurang 17.504 buah pulau dengan lebih dari 260 juta jiwa penduduknya. Dengan keadaan tersebut proses pendistribusian peralatan medis dari suatu pusat daerah terpencil akan menempuh jarak yang jauh dan otomatis akan memakan waktu yang lama. Hal ini menjadi permasalahan dasar dari sulitnya proses pendistribusian peralatan medis ke daerah – daerah di dalam negeri. Selain itu, berdasarkan standar *World Health Organization* (WHO) ketersediaan darah pada suatu daerah yaitu 2% dari jumlah penduduknya[1]. Dari data tersebut, Indonesia setidaknya membutuhkan lebih kurang 5 juta kantong darah setiap tahunnya. Sedangkan ketersediaan darah dan komponennya saat ini lebih kurang 2,5 juta kantong pertahunnya.

Pada Provinsi Riau, presentase kebutuhan dan ketersediaan darah sangat jauh dari standar yang ditetapkan dengan presentase kekurangan mencapai 65%. Hal ini tentu akan menjadi permasalahan lain jika darah yang dibutuhkan tidak tersedia di Palang Merah Indonesia (PMI) Provinsi Riau, maka darah yang dibutuhkan akan didatangkan dari daerah yang memiliki ketersediaan darah tersebut. Oleh karena itu sesuai Standar Operasional Prosedur (SOP) dari penyimpanan darah yang ditetapkan melalui Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (PERMENKES) Nomor 91 Tahun 2015 tentang standar pelayanan transfusi darah, bahwa darah donor harus disimpan dalam

suhu 2°C sampai 6°C dan hanya dapat bertahan selama 30 hari dari proses pendonoran.

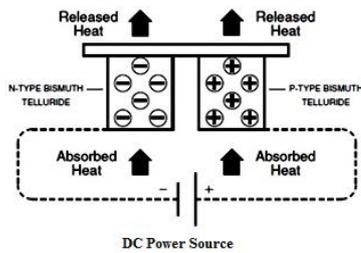
Berdasarkan data dan fakta – fakta tersebut, timbul sebuah ide untuk membuat *box* yang berguna untuk proses pendistribusian peralatan – peralatan medis khususnya darah. Untuk itu sangat diperlukan suatu alat yang dapat mendinginkan serta menjaga suhu dengan sistem yang lebih dan tidak membutuhkan tempat yang luas. Sedangkan untuk saat ini *box* yang digunakan berisi es atau *ice pack* untuk pendistribusian peralatan medis di dalam kota, namun keefektifannya masih dipertanyakan untuk distribusi jarak jauh.

Termoelektrik merupakan komponen yang dapat menggantikan fungsi dari refrigeran dan juga memiliki kelebihan seperti kriteria yang dibutuhkan diatas. Peltier ini umumnya digunakan dalam aplikasi kecil serta peltier memiliki karakteristik yang dapat mendinginkan tanpa merusak lingkungan dengan memanfaatkan elemen peltier.

Termoelektrik adalah komponen yang mengonversi langsung dari perbedaan suhu ke tegangan listrik dan begitu juga sebaliknya. Sebuah perangkat termoelektrik dapat menghasilkan tegangan pada kedua ujungnya ketika terjadi perbedaan suhu di setiap sisi termoelektrik.

Elemen termoelektrik merupakan semikonduktor tipe N dan tipe P yang dihubungkan dalam suatu rangkaian listrik tertutup yang terdapat beban. Dari perbedaan suhu yang ada pada tiap *junction* pada tiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan elektron berpindah dari sisi panas

menuju sisi dingin[2]. Skema pendinginan termoelektrik dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Skema Pendinginan Termoelektrik [3]

Sistem pendingin termoelektrik memiliki beberapa bagian yang membedakannya terhadap sistem pendingin konvensional. Pada *cold junction* energi diabsorpsi oleh elektron yang mengalir dari tingkat energi yang rendah (elemen tipe P semikonduktor) ke tingkat energi lebih tinggi (elemen tipe N semikonduktor) ketika dialirkan arus DC dan menyebabkan satu sisi menjadi panas dan satu sisi menjadi dingin[4].

Aliran elektron dari semikonduktor tipe P akan menyerap kalor di bagian yang didinginkan lalu elektron mengalir menuju semikonduktor tipe N melalui konduktor penghubung yang permukaannya mengalami penurunan temperatur (T_c). Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan pergerakan elektron ke sisi panas modul (T_h). Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin dan dilepas pada sisi panas bergantung pada koefisien peltier dan arus listrik yang digunakan.

Berbagai penelitian mengenai penerapan dari sistem termoelektrik telah banyak dikaji sebelumnya dengan berbagai variasi pemanfaatannya. Pengembangan sistem termoelektrik banyak dilakukan karena sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat digunakan dengan daya listrik yang rendah. Chatterjee dkk (2003) [5] melakukan penelitian tentang penyimpanan dan pengangkutan vaksin menggunakan sistem termoelektrik. Kotak penyimpanan ini dengan menggunakan 2 elemen peltier dengan beban internal sebanyak 2,5 liter. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa temperatur yang didapat mencapai suhu 2°C dengan temperatur lingkungan 45°C .

Putra (2009) [6] melakukan penelitian terhadap sistem pendingin dari kotak pembawa vaksin dengan membandingkan pada saat pengujian dengan dan tanpa menggunakan pipa panas. Penelitian ini menggunakan 2 buah elemen peltier serta pengujian dilakukan tanpa menggunakan beban. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa temperatur yang didapat ketika tidak menggunakan pipa panas yaitu -10°C untuk suhu kabin dan -14°C untuk sisi dingin elemen peltier dengan temperatur lingkungan 30°C .

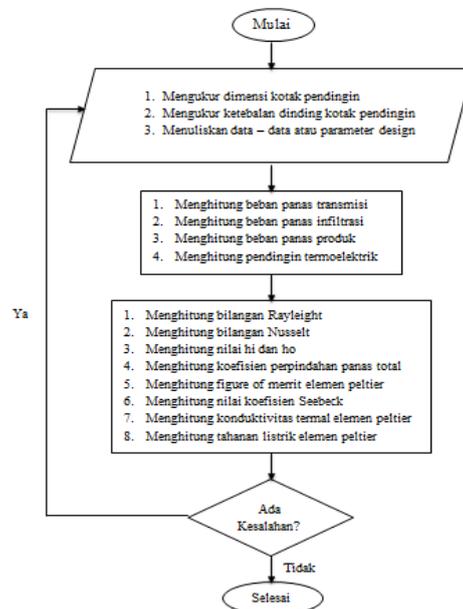
Sary (2012) [7] melakukan kaji eksperimen pada lemari penyimpanan darah *portable* dengan

membandingkan pengujian ketika diberi beban dan tanpa beban. Penelitian ini menggunakan sebuah kotak dengan ukuran $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 30\text{cm}$ dengan isolasi yang dipilih yaitu *styrofoam* dan menggunakan elemen peltier TEC1 12706. Dari penelitian ini didapat hasil $5,4^{\circ}\text{C}$ pada saat tidak ada beban dan $6,2^{\circ}\text{C}$ ketika diberi beban.

Dari berbagai hal penelitian tersebut terlihat bahwa sistem pendingin menggunakan termoelektrik menunjukkan performa yang menjanjikan dengan daya listrik rendah dan ramah lingkungan. Oleh sebab itu, penulis memilih topik penelitian ini tentang perancangan dan pembuatan *blood cool box* menggunakan *thermoelectric peltier*.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun. Dalam perancangan *blood cool box* dimulai dengan pengukuran dimensi dari kotak pendingin serta menghitung beban pendinginan. Berdasarkan beban pendinginan dapat ditentukan jumlah elemen peltier yang digunakan. Diagram alir perancangan *blood cool box* dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Perancangan

2.1 Alat dan Bahan

Adapun sistem pendingin *blood cool box* terdiri dari beberapa komponen utama diantaranya adalah elemen peltier sebagai alat untuk mengkonversi aliran listrik menjadi perubahan temperatur, *coldsink* dan *heatsink* sebagai media penyerapan dan pelepasan kalor pada proses pendinginan dan *fan* sebagai media untuk mempercepat proses penyerapan dan pelepasan kalor.

2.2 Parameter Perhitungan Blood Cool Box

Dalam penelitian ini, peneliti merancang sistem pendingin termoelektrik diantaranya beban

panas transmisi, beban panas infiltrasi, beban panas produk dan pendingin termoelektrik.

a. Beban Panas Transmisi

Blood cool box dikondisikan agar temperatur dalam *box* mengalami penurunan temperatur sesuai perancangan dengan menggunakan sistem pendingin termoelektrik. Ukuran dimensi *cool box* yang dianalisis adalah:

Panjang x Lebar x Tinggi = 280mm x 180mm x 200mm, temperatur simpan = 277K, temperatur lingkungan = 306K.

Untuk menghitung beban panas transmisi terlebih dahulu menghitung nilai dari bilangan Rayleigh [8].

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} Pr \quad (1)$$

Setelah menentukan nilai bilangan Rayleigh, selanjutnya menentukan nilai dari bilangan Nusselt [7].

Plat Vertikal:

$$Nu = \left[0,875 + \frac{0,347Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \quad (2)$$

Plat Horizontal

$$Nu = 0,54Ra^{1/4} \quad (3)$$

Setelah nilai dari bilangan Nusselt didapatkan, maka kita akan menghitung nilai koefisien lapisan udara luar dan udara dalam [7].

$$h_o = \frac{k}{L_c} Nu \quad (4)$$

Selanjutnya menghitung nilai dari koefisien perpindahan panas total [8].

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \frac{1}{h_i}} \quad (5)$$

Dan terakhir menghitung beban kalor pada setiap dinding [8].

$$q = K \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (6)$$

Dimana:

K = koefisien perpindahan kalor total (W/m²K)

A = luas permukaan perpindahan panas(m²)

T_{out} = suhu luar dinding(K)

T_{in} = suhu dalam dinding(K)

b. Beban Panas Infiltrasi

Beban panas infiltrasi dihitung berdasarkan volume dan jumlah pertukaran udara pada *box* [9].

$$q = c_p \cdot z \cdot V \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (7)$$

Dimana:

C_p = kalor spesifik (KJ/kg.K)

Z = jumlah dari pertukaran udara

V = volume kotak pendingin(m³)

T_{ou} = suhu luar kotak pendingin(K)

T_{in} = suhu dalam kotak pendingin(K)

c. Beban Panas Produk

Beban panas produk adalah beban panas yang harus dibuang untuk mencapai temperatur sesuai yang telah ditentukan [9].

$$q = \frac{G \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in})}{\Delta T_s / 3600} \times LF \quad (8)$$

Dimana:

G = jumlah produk(kg)

C_p = kalor spesifik(KJ/kg K)

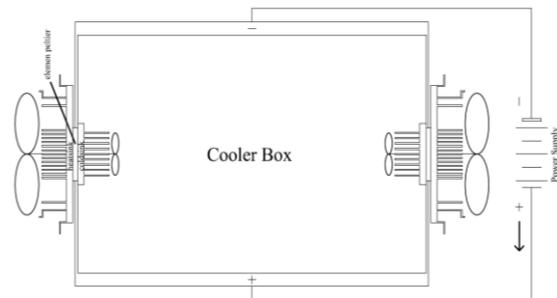
T_{out} = temperatur luar(K)

T_{in} = temperatur dalam(K)

Δt_s = waktu pendinginan (h)

LF = faktor beban

Setelah semua beban panas didapatkan, 10% dari total beban panas harus ditambahkan sebagai panas yang tidak diketahui dan tidak terduga serta pertimbangan selama sistem bekerja. Skema pendinginan termoelektrik dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Skema Pendinginan Termoelektrik

d. Pendinginan Termoelektrik

Dengan menggunakan data manufaktur dari TEC1 12706 dapat menentukan karakteristik dari elemen peltier. Menurut Zhaoxia (2008) [10], ada empat karakteristik utama elemen peltier yaitu, *Figure of Merit (Z)*, Koefisien Seebeck modul (*S_m*), Tahanan Listrik modul (*R_m*), dan nilai Konduktivitas Termal modul termoelektrik (*K_m*).

a. *Figure of Merit (z)* modul termoelektrik

$$z = \frac{2\Delta T_{max}}{(T_h - \Delta T_{max})^2} \quad (9)$$

b. Koefisien Seebeck modul termoelektrik (*S_m*)

$$S_m = \frac{V_{max}}{T_h} \quad (10)$$

c. Konduktivitas Termal elemen Peltier (*K_m*)

$$K_m = \frac{(T_h - \Delta T_{max})V_{max}I_{max}}{2T_h\Delta T_{max}} \quad (11)$$

d. Tahanan Listrik modul elemen peltier (*R_m*)

$$R_m = \frac{(T_h - \Delta T_{max})V_{max}}{T_h I_{max}} \quad (12)$$

e. Jumlah Kalor yang Diserap

Menurut Manoj (2013) [4] dan Zhaoxia (2008) [10], untuk mendapatkan nilai kalor yang diserap (*Q_c*) modul elemen peltier dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Q_c = S_m T_c I - \frac{I^2 R_m}{2} - K_m \Delta T \quad (13)$$

f. Daya Operasi

Daya yang dioperasikan adalah 12V 5A maka P dapat dicari dengan persamaan:

$$P = I \cdot V \quad (14)$$

g. Jumlah Kalor yang Dilepas

$$Q_h = S_m T_c I + \frac{I^2 R_m}{2} - K_m \Delta T \quad (15)$$

h. Tahanan Termal Heatsink

$$R_{hs} = \frac{(T_h - T_a)}{Q_h} \quad (16)$$

i. Coefficient of Performance (COP)

$$COP = \frac{Q_c}{P} \quad (17)$$

j. Jumlah Elemen Peltier

Menurut Onoroh (2013) [11], untuk menentukan jumlah elemen peltier digunakan persamaan:

$$n = \frac{Q_{total}}{Q_c} \quad (18)$$

3. Hasil

Hasil dari perancangan *blood cool box* dengan menggunakan sistem pendingin termoelektrik dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Perancangan

Parameter	Nilai
Beban Pendinginan	31,682 watt
Figure of Merit(z) modul	0,002088 K-1
Koefisien Seebeck modul (Sm)	0,044 V/K
Konduktivitas Termal modul (Km)	0,608 W/K
Tahanan Listrik Modul (Rm)	1,979 Ohm
Kalor yang Diserap	18,658 Watt
Daya Operasi	72 Watt
Kalor yang Dilepas	89,902 Watt
Tahanan Termal Heatsink	0,055 Ohm
Coefficient of Performance (COP)	0,259
Jumlah Elemen Peltier	2 Elemen Peltier

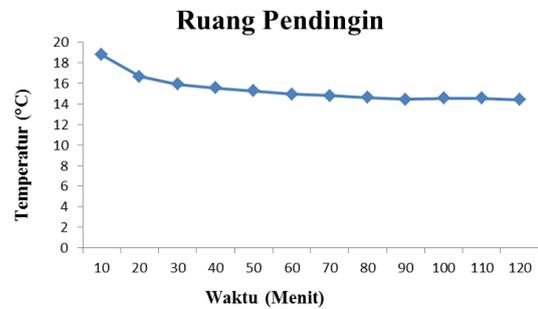
4. Pembahasan

Untuk mengetahui kinerja alat *blood cool box* ini maka dilakukan pengujian di laboratorium. Setelah semua alat terinstall, maka alat dijalankan dan dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat ukur dan data akuisisi OMEGA TC-08.

Pengujian pertama dilakukan pada *cool box* dengan keadaan tanpa beban, hal ini digunakan untuk mengetahui kinerja sistem pendinginan

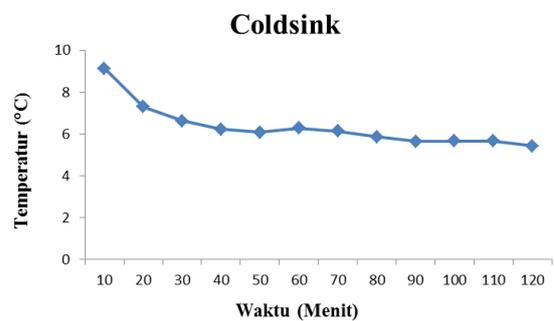
sebelum diberi beban. Setelah itu dilakukan pengujian dengan beban yaitu darah.

Pengujian ruang pendingin pada *blood cool box*. Pada ruang pendingin, proses pendinginan dilakukan dengan pengaruh dari penurunan temperatur pada *coldsink*. *Coldsink* menyerap kalor pada ruangan yang akan didinginkan. Dan panas yang berasal dari *heatsink* elemen peltier dihisap oleh *fan* kemudian disebar ke lingkungan. Perbandingan temperatur ruang pendingin dengan waktu pendinginan dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4 Perbandingan Temperatur Ruang Pendingin dengan Waktu Pendinginan

Dari gambar 4, bahwa penurunan temperatur terjadi lebih cepat pada ruang pendingin pada 10 menit pertama, kemudian pada menit berikutnya hanya mengalami sedikit penurunan. Temperatur ruang pendingin mencapai 18,75°C pada menit ke 10, kemudian temperatur ruang pendingin mengalami fluktuasi sampai akhir pengujian. Hal ini terjadi karena temperatur lingkungan yang tinggi dan tidak stabil pada saat pengujian yang berakibat kepada kinerja dari *heatsink* dan *fan* yang tidak maksimal sebagai alat pembuang kalor. Perbandingan temperatur *coldsink* dengan waktu ruang pendingin dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Perbandingan Temperatur Coldsink dengan Waktu Pendinginan

Pada gambar 5 dilihat bahwa temperatur *coldsink* mencapai temperatur 5,44°C dalam waktu 120 menit. Temperatur pada *coldsink* juga mengalami fluktuasi. Ketidakmampuan *coldsink* mencapai suhu optimum sesuai perancangan dan mengalami fluktuasi ini akibat kinerja dari sistem pelepasan kalor panas oleh *heatsink* kurang maksimal serta temperatur lingkungan yang cukup tinggi juga mempengaruhi kinerja dari sistem

tersebut. *Coefficient of Performance* elemen peltier dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 *Coefficient of Performance* Elemen Peltier

Jumlah Beban	ΔT (°C)	Qc (W)	Qh (W)	COP
1 Liter	29,65	19,48	90,72	0,135

Pada tabel 2 dilihat perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin elemen peltier. Semakin rendah perbedaan temperatur maka semakin tinggi jumlah kalor yang diserap dan dilepas oleh sistem. Hal ini juga berdampak pada nilai COP, dimana semakin besar kalor yang diserap maupun dilepas maka semakin besar nilai COP yang didapatkan.

5. Simpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat media pendingin dengan menggunakan elemen peltier pada *blood cool box*.
2. Semakin rendah perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin maka semakin tinggi jumlah kalor yang diserap, serta akan mempengaruhi nilai COP yang akan semakin besar jika nilai kalor yang diserap semakin besar
3. *Blood cool box* belum bisa digunakan untuk media pendingin darah karena temperatur yang didapat pada pengujian belum memenuhi Standar Operasional Prosedur (SOP) penyimpanan darah.

Daftar Pustaka

- [1] Pusat Data dan Informasi (PUSDATIN) Kementerian Kesehatan. Situasi Donor Darah Di Indonesia 2013. Jakarta.
- [2] Mani, Pooja Iyer. 2016. *Design, Modeling and Simulation of A Thermoelectric Cooling System (TEC)*. Western Michigan University. USA.
- [3] Moran and Saphiro. 2011. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 7th Edition. New York: Willey and Sons.
- [4] Kumar, Manoj. 2013. *Development and Experimental Study of Solar Powered Thermoelectric Refrigerator System*. International Journal of Engineering Research and Application (IJERA), ISSN: 2284. Volume 3, Issue 4, July-Agust 2013.
- [5] Chatterjee, S dan Pandey, K.G. 2003. *Thermoelectric Cold Chain Chests for Storing / Transporting Vaccines in Remote Regions*. Applied Energy 76(2003)415-433.
- [6] Putra, N. 2009. *Design, Manufacturing and Testing of a Portable Vaccine Carrier Box Employing Thermoelectric Module and Heat*

Pipe. Journal of Medical Engineering & Technology. Vol. 33. No. 3. 232-237.

- [7] Sary, Ratna dan Mubarak, Amir Zaki. 2012. *Kaji Eksperimental Perpindahan Panas pada Lemari Penyimpanan Darah Portable dengan Memanfaatkan Efek Peltier*. Journal Teknik Mesin Unsyiah, Volume 1, Nomor 2.
- [8] Cengel, Yunus A. 2002. *A Practical Approach Heat Transfer*. 2nd ed. McGraw-Hill. New York.
- [9] Akdemir, Serap. 2008. *Designing of Cold Stores and Choosing System Elements*. Journal of Applied Sciences 8 (5): 788-794. ISSN 1812-5654.
- [10] Zhaoxia, Luo. 2008. *A Simple Method to Estimate the Physical Characteristic of a Thermoelectric Cooler from Vendor Databases*.
- [11] Francis, Onoroh. 2013. *Performance Evaluation of a Thermoelectric Refrigerator*. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 7, January 2013.