

Kaji Sistem Peralatan Penyerap Kalor pada Kotak Penyimpanan Darah

Dogar Situmeang¹, Ahmad Syuhada²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, INDONESIA

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Email: dogar.setumeang@gmail.com

Abstract

This research aims to produce an effective heat sink with thermoelectric which is a semi conductor devices having several pairs of type P (positive) and N (negative) S content. Type P has a lower energy level while type N had a higher energy level. This tool, equipped with a heat sink as the heater, is mounted on a chamber to create a heat exchanger for a portable cooler box. Three types of thermoelectric modules were used with different fin types to find out the their effects on the temperature, T, and the rate of heat transfer, Q, inside the cooler box. The results shows that with the blood volume of 250 cc, the blood temperature can be decreased from 29 °C to 5.8 °C within 145 minutes. The ideal temperature for the blood storage ranges from 1 °C to 6 °C. Among the three types of fins that were tested, the most effective heat transfer was given by fin type no. 3, the cylindrical-shaped fins. The heat transfer obtained is 12.83 W/m² °C. The lowest heat transfer was given by fin type no. 2, which is a slot type, with heat transfer rate of 3.85 W/m² °C.

Keywords: Blood cold storage, thermoelectric module, fin.

1. Pendahuluan

Karakteristik perpindahan panas pada penukar panas merupakan hal yang sangat kompleks. Selain luas penampang perpindahan panas yang mengikuti bentuk dari jenis peralatan perpindahan panas itu sendiri, juga pola aliran yang menentukan nilai koefisien perpindahan panas dari permukaan ke fluida kerja. Peralatan penukar kalor biasanya digunakan pada proses pemanasan ataupun pada proses pendinginan. Tujuan penggunaan peralatan penukar panas ini hanya untuk memperbesar perpindahan panas pada proses tersebut. Proses pendinginan biasa digunakan untuk proses pengawetan sementara pada material yang akan ditunda pemakaiannya.

Pendinginan berlangsung dengan dua cara, yang pertama dengan pemanfaatan es dan yang kedua dengan pemanfaatan ruang pendingin (*cold storage*). Biasanya pendinginan dengan pemanfaatan es hanya digunakan untuk pengawetan sementara, sedangkan dengan menempatkannya didalam *cold storage* produk bisa bertahan lebih lama. Pendinginan dengan cara menempatkannya didalam *cold storage* terbagi dalam beberapa tahapan diantaranya pemrosesan berupa pembersihan, pemilihan (*storting*), pendinginan awal (*precooling*), pembekuan (*freezing*), penyimpanan (*holding*) dan pengemasan (*packing*). Prinsip pendinginan itu sendiri adalah upaya untuk menurunkan temperatur dengan cara menyerap panas dari suatu objek hingga mencapai temperatur tertentu. Pada penyimpanan darah yang tidak digunakan langsung ketika darah

tersebut diambil dari pendonor, maka untuk itu dibutuhkan proses pendinginan. Karena temperatur penyimpanan akan mempengaruhi terhadap kualitas darah dan usia dari darah yang disimpan, temperatur penyimpanan darah berkisar antara 1°C hingga 6°C [1].

Penggunaan peralatan penurunan temperatur pada penyimpanan darah merupakan proses pendinginan. Proses pendinginan merupakan suatu upaya penurunan temperature dengan cara penyerapan panas dari suatu sistim hingga temperatur yang diinginkan tercapai. Mesin pendingin adalah suatu alat yang digunakan supaya terjadinya proses pendinginan. Panas yang ada di dalam ruang pendingin diserap oleh mesin pendingin dan di buang ke atmosfer pada temperatur yang lebih tinggi, hal ini biasa disebut dengan sistim pompa panas. Mesin pendingin yang banyak dipakai dewasa ini umumnya menggunakan sistem kompresi uap dengan daya cukup besar serta menggunakan zat kimia yang tidak ramah lingkungan serta hanya sesuai untuk pendinginan yang relatif besar dan tidak mudah untuk di pindah pindahkan. Sedangkan untuk peralatan penyimpan darah yang mudah dibawa-bawa merupakan salah satu mesin pendingin yang kecil. Untuk menjawab permasalahan tersebut maka akan dikaji sebuah peralatan kotak penyimpan darah portabel dengan menggunakan modul peltier yang efisien sebagai pompa kalornya. Peralatan penyimpan darah hasil desain tersebut akan memiliki beberapa keunggulan yaitu: kebutuhan energi yang relatif kecil, ringan dan mudah di pindah-pindahkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada laboratorium Reayasa Termal Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.

2.1. Jenis Termoelektrik yang digunakan

Termoelektrik (TEC) atau elemen peltier yang digunakan pada penelitian ini adalah TEC yang banyak dijual dipasaran yaitu termoelektrik/peltier *single stage* dengan tipe 12706. Termoelektrik ini dengan performa yang baik dapat menghasilkan temperature dibawah nol derajat celcius pada sisi dinginnya. Untuk data dan spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Performance Specifications

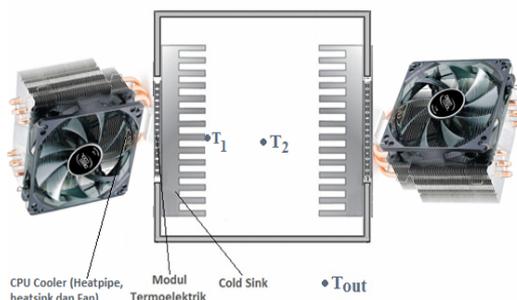
Hot Side Temperature (°C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



Gambar 1. Spesifikasi elemen peltier/pendingin termoelektrik (TEC)

Peralatan HE Pada Sisi Panas

Sisi panas peltier ditempel dengan penukar kalor yaitu *CPU Cooler Tipe Deep Cool Gammamaxx 400* yang mempunyai sirip, heat pipe, dan fan. Semakin bagus performa atau banyaknya panas yang diserap oleh *CPU Cooler* tersebut, maka semakin dingin temperature yang dihasilkan pada peltier sisi dingin (Gambar 2).



Gambar 2. Titik-titik pengukuran pada kotak penyimpanan darah

Peralatan HE Pada Sisi Dingin

Pada sisi dingin elemen peltier, ditempel *heatsink*. *Heatsink* adalah suatu alat yang berfungsi untuk membantu memindahkan kalor dalam suatu sistem. Komponen utama dari *heatsink* adalah *fin* (sirip). Yaitu suatu luasan yang biasanya tersusun secara struktur dengan memiliki ketebalan dan jarak tersendiri.

Cara kerja peralatan HE *heatsink* – *coldsink* :

- Modul termoelektrik yang terdapat dua sisi yaitu sisi panas dan sisi dingin ditempelkan *heatsink* sebagai pelepasan kalor. Sisi panas dari modul peltier ditempelkan pada *CPU Cooler Tipe Deep Cool Gammamaxx 400* yang mempunyai sirip, heat pipe dan fan. Sedangkan untuk sisi dingin dari modul peltier ditempelkan *coldsink* plat bersirip jenis *extrude*. Plat ini terbuat dari aluminium variasi sirip. Variasi sirip inilah yang akan dikaji dalam penelitian.
- Pada saat catu daya tegangan searah (arus DC) dihubungkan, modul termoelektrik (peltier) mulai bekerja, *cold sink* sisi dingin mulai menjadi dingin, dan *heatsink* sisi panas mulai menjadi panas.
- Pada bagian dalam lemari penyimpanan darah, sisi dingin hanya ditempel *coldsink* bersirip tanpa menggunakan fan (konveksi alamiah).
- Pada bagian luar kotak, udara lingkungan disedot masuk oleh fan sisi panas dan ditekan agar melewati heatpipe dengan sirip-sirip heat sink. Udara yang keluar dari sisi panas mempunyai temperatur lebih tinggi dari pada udara lingkungan sekitar.
- Proses pendinginan kotak penyimpanan darah terus berlangsung dalam waktu tertentu secara terus menerus sehingga mendekati suhu yang diinginkan.

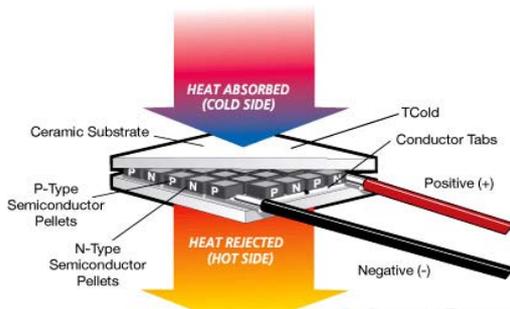
2.2. Teori Termoelektrik

Teknologi termoelektrik merupakan salah satu teknologi refrigerator tanpa menggunakan kompresor dan refrigeran. Sistem refrigerasi ini bekerja dengan mengkonversikan energi listrik untuk menghasilkan dingin dan panas pada bagian salah satu bagian modul termoelektrik tersebut. Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, diberikan suhu yang berbeda pada sambungannya, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek Seebeck.

Prinsip kerja termoelektrik adalah berdasarkan efek peltier, yaitu ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang semikonduktor tipe P (yaitu semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe N (yaitu semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi) akan menyebabkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lain menjadi panas (kalor dilepas) dan sebaliknya jika arah arus dibalik.

Gambar 3 menunjukkan aliran elektron dari semikonduktor tipe P yang memiliki tingkat energi lebih rendah, menyerap kalor di bagian yang didinginkan lalu elektron mengalir menuju

semikonduktor tipe N melalui konduktor penghubung yang permukaannya (T_c) akan mengalami penurunan suhu. 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. Sehingga pada kondisi apapun kesetimbangan termal yang terjadi karena efek Peltier pada sisi dingin akan sama dengan jumlah kalor yang terbentuk pada semikonduktor dijumlahkan dengan $1 \frac{1}{2}$ Joule heat [3].



Gambar 3. Ilustrasi aliran elektron pada termoelektrik [2]

Termoelektrik *refrigerator* memanfaatkan efek Peltier yaitu apabila dua buah metal atau bahan semi konduktor yang berbeda dihubungkan dan dialiri arus, maka akan terjadi perbedaan suhu. Kemudian modul termoelektrik akan menyerap panas yang ada disekitarnya pada satu sisi dan melepaskannya pada sisi yang lain [4]. Menurut Metzger dan Huebener [5], jika arus dilewatkan melalui suatu termokopel maka akan terjadi lima efek termoelektrik yang terdiri dari efek Seebeck, efek Peltier, efek Joulean, efek Thomson, dan efek konduksi panas. Kelima efek tersebut akan timbul bersama-sama pada saat sistem termoelektrik berlangsung.

Konveksi bebas merupakan metode yang disukai dari perpindahan panas karena melibatkan bagian yang tidak bergerak, seperti komponen elektronik itu sendiri. Namun, dalam modus konveksi alami, komponen lebih cenderung untuk berjalan pada suhu yang lebih tinggi dan dengan demikian melemahkan kehandalannya. Sebuah heat sink dipilih untuk dapat menurunkan suhu operasi dari komponen dan dengan demikian mengurangi resiko kegagalan. Konveksi bebas dari permukaan sirip vertikal dari bentuk kotak telah menjadi bahan objek pembelajaran, dan banyak eksperimen. Bar-Cohen dan Rohsenow 1984 [7] telah menyediakan dan mengumpulkan data-data dengan variasi kondisi batas, dan mengembangkan korelasi-korelasi untuk Nusselt Number dan jarak optimum. Karakteristik dari panjang pelat parallel vertikal yang menggunakan fin, biasanya digunakan jarak antara fin (S atau b), meskipun tinggi sirip L dapat juga

digunakan. Grashof Number diberikan pada Persamaan (1), yaitu:

$$Gr_s = \frac{[g\beta(T_h - T_c)]S^3}{\nu^2} \cdot Pr \text{ and } Gr_L = \frac{[g\beta(T_h - T_c)]L^3}{\nu^2} \cdot Pr \quad (1)$$

Untuk Rayleigh Number di berikan $Ra = Gr \cdot Pr$

Hubungan yang disarankan untuk Nusselt Number rata-rata untuk pelat parallel vertikal isothermal adalah [8]:

$$Nu_s = \frac{hS}{k} = \left[\frac{576}{(Ra_s S)^2} + \frac{2.073}{(Ra_s S)^{0.8}} \right]^{-0.8} \quad (2)$$

Pertanyaan yang sering muncul dalam pemilihan heatsink adalah apakah dipilih dengan sirip yang rapat atau sirip banyak spasi/ruang (S yang lebar) untuk daerah basis yang diberikan. Sebuah heatsink dengan sirip rapat akan memiliki luas permukaan yang lebih besar untuk perpindahan panas tetapi koefisien perpindahan panas yang lebih kecil karena hambatan termal ekstra dengan adanya penambahan sirip yang menggambarkan aliran fluida melalui saluran antar sirip. Heatsink dengan sirip luas spasi, di sisi lain, akan memiliki koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi, tetapi luas permukaan yang lebih kecil.

Oleh karena itu, harus ada jarak optimal yang memaksimalkan perpindahan panas konveksi alami dari heatsink untuk WL daerah basis yang diberikan, di mana W dan L adalah lebar dan tinggi dari dasar heatsink (Gambar 6). Ketika sirip dasarnya isothermal dan t ketebalan sirip relatif kecil untuk jarak S fin, jarak sirip optimal untuk heatsink vertikal ditentukan oleh Bar-Cohen dan Rohsenow :

$$S_{opt} = 2.714 \left(\frac{S^3 L}{Ra_s} \right)^{0.28} = 2.714 \frac{L}{Ra_s^{0.28}} \quad (3)$$

Ini dapat diberikan dengan mengkombinasi persamaan-persamaan diatas dimana jika $S = S_{opt}$, maka Nusselt Number pada keadaan konstan dan bernilai 1,307 [9].

$$S = S_{opt}$$

$$Nu_s = \frac{hS_{opt}}{k} = 1,307 \quad (4)$$

Maka laju perpindahan panas dengan konveksi bebas dari sirip dapat dihitung dengan Persamaan (5) dibawah ini :

$$\dot{Q} = h (2nLH) (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

dimana $n = W/(S+t) \approx W/S$ yaitu jumlah sirip pada heatsink dan T_s adalah temperature permukaan dari sirip. Semua property fluida dapat dicari pada tabel pada temperatur rata-rata $T_{ave} = (T_s - T_\infty)/2$.

Lapisan batas dimulai pada daerah paling rendah dari sebelah permukaan dan akhirnya bergabung pada daerah tengah jika pelat vertikal dan cukup lama. Pada kasus ini, akan diperlihatkan aliran berkembang pada saluran setelah bergabung dari lapisan batas, dan aliran konveksi bebas akan dianalisis sebagai saluran tersebut. Tetapi ketikan pelat pendek atau jarak pelat terlalu besar, maka lapisan batas pada permukaan yang berlainan tidak pernah tercapai satu sama lain, dan aliran konveksi bebas pada permukaan tidak berpengaruh terhadap permukaan yang berlainan. Pada kasus ini, permasalahan seharusnya dianalisis dengan konveksi bebas dari dua pelat bebas dengan medium yang tak bergerak, menggunakan hubungan yang diberikan pada permukaan, bukan dari aliran konveksi bebas yang melewati saluran.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Pengukuran Tanpa Beban

Pengujian dilakukan setelah pemasangan elemen *peltier* dan CPU Cooler (*heatpipe*, *heatsink* dan *fan*) pada sisi panas *peltier*, sedangkan sisi dingin *peltier* hanya ditempel/diletakkan pada pelat aluminium sisi luar pelat pada kotak penyimpanan darah. Sebelum pengujian dilakukan, dipasang peralatan pengukuran suhu (termokopel) kedalam kotak penyimpanan darah untuk mengetahui distribusi suhu didalam kotak. Posisi termokopel diletakkan didekat pelat aluminium yang bersentuhan dengan *peltier* sisi dingin bagian (T1) dan ditengah-tengah kotak (T2). Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan Program *Phywe measure 4TM*. Pengukuran dilakukan tanpa menggunakan beban atau kosong. Hasil pengujian diberikan dalam bentuk tabel kemudian diplot ke bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4 untuk kondisi tanpa beban. ΔT adalah selisih dari temperature rata-rata didalam kotak $(T1+T2)/2$ dengan T_{out} .

Dari Gambar 4 terlihat bahwa terjadi penurunan suhu terhadap waktu selama 105 menit mendekati 5°C . Untuk suhu T1 dan T2 hampir memiliki alur penurunan suhu yang sama. Terlihat pada waktu yang sama yaitu 105 menit suhu T1 dan T2 diperoleh masing-masing $5,2^{\circ}\text{C}$ dan $5,4^{\circ}\text{C}$. T1 mempunyai suhu yang lebih dingin dibandingkan T2, hal ini dikarenakan titik T1 lebih dekat dengan sisi dingin elemen *peltier*. Sedangkan grafik ΔT terlihat bahwa semakin besar penurunan temperature atau semakin rendah temperatur yang berada

didalam kotak penyimpanan darah (T1 dan T2) maka semakin besar pula beda temperatur yang terjadi.

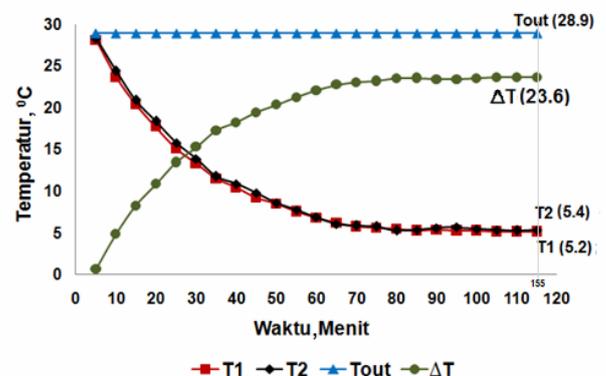
Heatsink atau Sirip (*Extended Surface*)

Sirip adalah permukaan yang menonjol yang menempel pada dinding peralatan perpindahan panas dengan tujuan untuk memperbesar laju pemanasan atau pendinginan. Penampang sirip dapat berbentuk segiempat, segitiga, atau trapezoida yang dipasang secara longitudinal. Selain itu, jenis sirip yang lain adalah sirip radial berprofil siku empat dan sirip berbentuk pena.

Heatsink Plat Bersirip Jenis *Estrude*

Heatsink plat bersirip banyak digunakan untuk meningkatkan pelepasan panas pada komponen elektronika. Penggunaan heatsink plat bersirip adalah untuk menurunkan tahanan termal dan temperature operasi komponen. Hal ini dikarenakan adanya penambahan luas permukaan pendingin dari sirip plat, juga dengan didapatkannya peningkatan koefisien perpindahan panas konveksi.

Pengujian dilakukan setelah pemasangan elemen *peltier* dan CPU Cooler (*heatpipe*, *heatsink* dan *fan*) pada sisi panas *peltier*, sedangkan sisi dingin *peltier* hanya ditempel/diletakkan pada pelat aluminium sisi luar pelat pada kotak penyimpanan darah. Sebelum pengujian dilakukan, dipasang peralatan pengukuran suhu (termokopel) kedalam kotak penyimpanan darah untuk mengetahui distribusi suhu didalam kotak. Posisi termokopel diletakkan didekat pelat aluminium yang bersentuhan dengan *peltier* sisi dingin bagian (T1) dan ditengah-tengah kotak (T2). Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termokopel yang seluruhnya data pengukurannya di rekam ke komputer dengan menggunakan *software Program Phywe measure 4TM*. Pengukuran dilakukan tanpa menggunakan beban atau kosong.



Gambar 4. Grafik penurunan suhu T1, T2 dan ΔT terhadap waktu kotak penyimpanan darah tanpa beban.

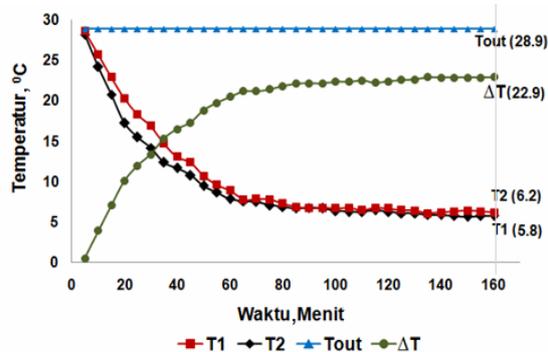
Hasil pengujian diberikan dalam bentuk tabel kemudian diplot ke bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4 untuk kondisi tanpa beban. ΔT adalah selisih dari temperature rata-rata didalam kotak $(T1+T2)/2$ dengan T_{out} . Dari Gambar 4

terlihat bahwa terjadi penurunan suhu terhadap waktu selama 105 menit mendekati 5°C . Untuk suhu T1 dan T2 hampir memiliki alur penurunan suhu yang sama. Terlihat pada waktu yang sama yaitu 105 menit suhu T1 dan T2 diperoleh masing-masing $5,2^{\circ}\text{C}$ dan $5,4^{\circ}\text{C}$. T1 mempunyai suhu yang lebih dingin dibandingkan T2, hal ini dikarenakan titik T1 lebih dekat dengan sisi dingin elemen peltier. Sedangkan grafik ΔT terlihat bahwa semakin besar penurunan temperature atau semakin rendah temperature yang berada didalam kotak penyimpanan darah (T1 dan T2) maka semakin besar pula beda temperatur yang terjadi.

Penambahan *coldsink* berarti terjadi penambahan luas permukaan dari segi konveksi yaitu terjadi penambahan luas daerah serapan kalor yaitu plat aluminium dan *coldsink*. Dari segi konduksi yang terjadi yaitu terjadi penambahan ketebalan akibat peletakan *coldsink* yang dipasang tepat pada posisi plat aluminium yang bersentuhan langsung dengan sisi dingin peltier. Berdasarkan persamaan konduksi diatas juga penambahan ketebalan akan mengurangi penyerapan kalor yang terjadi. Selain pengujian, juga dilakukan kaji teoritis terhadap perbedaan jenis *coldsink* atau perbedaan luasan *coldsink* yang berpengaruh terhadap proses perpindahan panas kotak penyimpanan darah.

3.2. Data Pengukuran Dengan Beban

Pengujian yang dilakukan sama seperti pengujian tanpa beban, tetapi didalam kotak penyimpanan darah diberikan beban yaitu sekantong darah sekitar 250 cc (sesuai dengan kantong dari PMI). Darah yang digunakan sebagai sampel yaitu darah hewan (sapi) yang dianggap sama dengan darah manusia. Titik pengukuran T1 dan T2 diletakkan ditempat yg sama seperti penelitian sebelumnya. Hasil pengukuran diplot dalam bentuk grafik yang diberikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik penurunan suhu T1, T2 dan ΔT terhadap waktu kotak penyimpanan darah dengan beban darah.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa terjadi penurunan suhu terhadap waktu, berbeda dari Gambar 4 bahwa

untuk mencapai suhu 5°C dibutuhkan waktu selama hampir 145 menit. Untuk suhu T1 dan T2 hampir memiliki alur penurunan suhu yang sama. Terlihat pada waktu yang sama yaitu 145 menit suhu T1 dan T2 diperoleh masing-masing $5,8^{\circ}\text{C}$ dan $6,2^{\circ}\text{C}$. Pemberian beban akan menaikkan suhu ruang dan sisi dingin pada peltier, ini dikarenakan pemberian beban akan menambah beban kalor yang harus diserap oleh sisi dingin dari peltier. Kinerja peltier hanya dapat membuat suhu lemari sekitar 6°C setelah diberikan beban. Makin ada beban (diberikan beban) maka makin lama waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu yang diinginkan.

3.3. Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan panas tanpa diikuti oleh perpindahan dari molekul benda tersebut. Konduksi dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang cukup besar menuju benda yang memiliki energi yang rendah.

Persamaan yang digunakan untuk perpindahan kalor konduksi dikenal dengan Hukum Fourier, yaitu [6]:

$$q = -k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (6)$$

dimana :

- q = Laju perpindahan panas (Watt)
- k = konduktivitas termal bahan (W/m.K)
- A = Luas permukaan bidang perp. panas (m^2)
- Δx = Ketebalan penampang permukaan (m)
- ΔT = Selisih/Beda Temperatur (K)

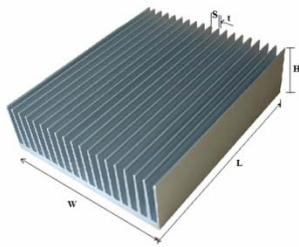
Nilai minus (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa kalor selalu berpindah kearah temperatur yang lebih rendah.

3.4. Perhitungan laju perpindahan panas dengan penambahan *coldsink* (variasi *coldsink*) pada kondisi tanpa beban dan dengan beban (darah)

Pemilihan ketiga tipe *coldsink* yang akan digunakan dalam perhitungan ini dikarenakan ketiga jenis ini mudah diperoleh dipasaran, dimensinya yang tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil yang disesuaikan dengan volume dari kotak penyimpanan darah. ketiga tipe *coldsink* yang akan digunakan juga mempunyai bentuk dan sirip yang berbeda.

Perhitungan laju perpindahan panas pada *coldsink* tipe pertama tanpa beban

Coldsink yang digunakan pada tipe pertama dapat dilihat pada Gambar 6:



Gambar 6. Coldsink tipe I

Coldsink tipe I memiliki ukuran $W \times L \times H$ sebesar $7 \times 7,5 \times 3$ cm dengan jarak S sebesar 0,4 cm dan ketebalan t sebesar 0,1 cm. Tipe I memiliki sirip sejumlah 17 sirip. Luas keseluruhan dari permukaan coldsink adalah 0.082855 m^2 .

Koefisien perpindahan panas dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6 yaitu konveksi bebas pada sirip. Perhitungan dilakukan pada menit ke 5 dimana temperatur lingkungan $28,9^\circ\text{C}$ dan temperatur dalam ruangan $28,1^\circ\text{C}$. Nilai konstanta yang digunakan pada persamaan diatas untuk permukaan yang isothermal pada temperatur film adalah sebagai berikut:

$$T_{\text{pelat}} = (T_\infty + T_{\text{in}})/2 = 28,5^\circ\text{C} = 301,5 \text{ K}$$

$$T_f = (T_\infty + T_{\text{pelat}})/2 = 301,7 \text{ K}$$

Nilai-nilai k , Pr dan lain-lain pada temperature 301,7 K diperoleh:

$$k = 0,026426 \text{ W/m}^\circ\text{C} ; Pr = 0,707$$

$$\beta = 1/T_f = 1/28,7 = 0,034843/^\circ\text{C} ; \nu = 17,713 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 0,4 \text{ cm} = 0,004 \text{ m}$$

Nilai-nilai diatas disubstitusikan ke Persamaan 5 untuk mendapatkan nilai Rayleigh Number, yaitu

$$Ra_s = \frac{[g\beta(T_s - T_\infty)S^3]}{\nu^2} \cdot Pr = 9,0491$$

Dengan mendapatkan Rayleigh Number, Nusselt Number rata-rata untuk pelat parallel vertikal isothermal adalah:

$$Nu = \frac{h_s}{k} \left[\frac{575}{(Ra_s/Gr)^{0,25}} + \frac{2875}{(Ra_s/Gr)^{0,75}} \right]^{-0,5}$$

$$0,0218661$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{S} = 0,1444571 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

Maka Laju perpindahan panas konveksi bebas pada kotak penyimpanan darah tanpa beban diperoleh sebesar:

$$\dot{Q} = h(2nLH)(T_s - T_\infty) = 0,3435 \text{ Watt}$$

Dengan persamaan-persamaan diatas, dapat juga ditentukan nilai koefisien perpindahan panas

konveksi (h) dan laju perpindahan panas (Q) pada kotak penyimpanan darah tanpa beban setiap menit penurunan temperaturnya.

Perhitungan Laju Perpindahan Panas Pada Coldsink Tipe I dengan Beban

Perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-Persamaan 5 dan 6 yaitu konveksi bebas pada sirip. Perhitungan dilakukan pada menit ke 5 dimana temperatur lingkungan $28,9^\circ\text{C}$ dan temperatur dalam ruangan $28,2^\circ\text{C}$.

Nilai konstanta yang digunakan pada persamaan diatas untuk permukaan yang isothermal pada temperature film adalah:

$$T_{\text{pelat}} = (T_\infty + T_{\text{in}})/2 = 301,6 \text{ K}$$

$$T_f = (T_\infty + T_{\text{pelat}})/2 = 301,7 \text{ K}$$

Nilai-nilai k , Pr dan lain-lain pada temperature 301,7 K diperoleh:

$$k = 0,026428 \text{ W/m}^\circ\text{C} ; Pr = 0,707$$

$$\beta = 1/T_f = 1/28,7 = 0,034813/^\circ\text{C} ; \nu = 17,714 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 0,4 \text{ cm} = 0,004 \text{ m}$$

Nilai-nilai diatas disubstitusikan ke persamaan 5 untuk mendapatkan nilai Rayleigh Number yaitu

$$Ra_s = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)S^3}{\nu^2} \cdot Pr = 8,6088$$

Sehingga, Nusselt Number rata-rata untuk pelat parallel vertikal isothermal adalah:

$$Nu = \frac{h_s}{k} \left[\frac{575}{(Ra_s/Gr)^{0,25}} + \frac{2875}{(Ra_s/Gr)^{0,75}} \right]^{-0,5}$$

$$0,0191159$$

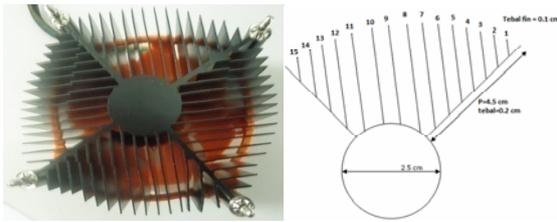
$$h = \frac{Nu \cdot k}{S} = 0,1426297 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

Maka Laju perpindahan panas konveksi bebas pada kotak penyimpanan darah tanpa beban diperoleh sebesar:

$$\dot{Q} = h(2nLH)(T_s - T_\infty) = 0,3005881 \text{ Watt}$$

Perhitungan Laju Perpindahan Panas Pada Coldsink Tipe III Dengan Beban

Coldsink tipe ketiga, Gambar 7, mempunyai sedikit kesukaran dan perbedaan dari coldsink tipe pertama dan kedua. Ini dikarenakan masing-masing sirip tidak sama, sehingga luas masing-masing sirip kita hitung satu persatu.



Gambar 7. Coldsink tipe III

Pada *coldsink* tipe III, ada dua nilai yang dibedakan, yaitu:

1. Luasan rangka sirip ($P=4,5$ cm, $t=0,2$ cm dan $H=3$ cm), maka luas rangka A_1 adalah $110,4$ cm² dikurang dengan jumlah fin sehingga menjadi $A_1=106$ cm²
2. Keliling masing-masing sirip yang berbeda yaitu:

Keliling masing-masing fin (cm)	
1 = 1.5	8 = 6.9
2 = 2.5	9 = 7.4
3 = 3.5	10 = 6.3
4 = 4.1	11 = 6.5
5 = 5.1	12 = 5.7
6 = 6.1	13 = 4.5
7 = 6.7	14 = 3.3
	15 = 1.7

Maka Jumlah Sirip (N) = 60, jumlah sirip yang menempel pada rangka adalah 44 sirip. Jarak antara sirip (S) = 0.3 cm dan tinggi sirip (H) sebesar 3 cm, Maka luas keseluruhan sirip dikurang jumlah sirip adalah $A_2=861,6$ cm²

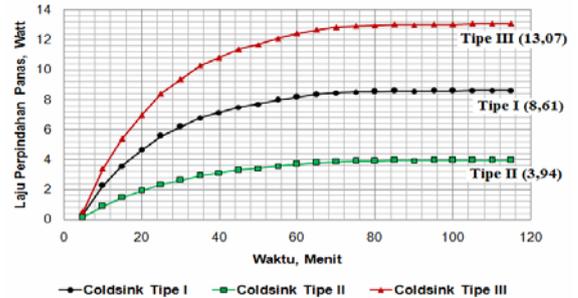
3. Luas Lingkaran tengah sirip yang berbentuk silindri dengan diameter $D=2,5$ cm) dengan panjang $H=3$, maka dengan persamaan luas lingkaran ($1/4\pi d^2L$), maka Luas lingkaran tengah *coldsink* adalah $A_3= 14,718$ cm².

Maka luas keseluruhan dari coldsink adalah luas rangka ditambah luar sirip ditambah luas lingkaran tengah sirip ($A_{total} = 982,318$ cm² = $0,098231$ m²).

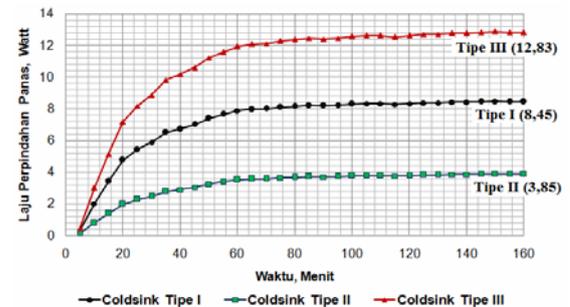
Grafik dan Pembahasan dari Hasil Perhitungan

Gambar 8 yang merupakan grafik perubahan laju perpindahan panas terhadap waktu dari ketiga tipe coldsink tanpa beban, memperlihatkan tren yang sama. Dari menit ke 5 hingga menit ke 60 menunjukkan kenaikan yang sangat cepat dan signifikan. Sedangkan untuk menit ke 60 hingga menit ke 105 mengalami sedikit kenaikan. Hal ini dikarenakan hampir semua bagian dari coldsink dan temperatur didalam kotak penyimpanan darah seragam. Sehingga laju perpindahan panas tidak mengalami kenaikan yang berarti. Sedangkan pada Gambar 9 memperlihatkan perubahan laju perpindahan panas terhadap waktu dari ketiga tipe coldsink dengan beban darah. Gambar 9 tidak jauh berbeda dari Gambar 8 yaitu bahwa nilai tertinggi

dari laju perpindahan panas diperoleh pada coldsink tipe III sebesar 13,07 Watt (tanpa beban) dan 12,83 Watt (dengan beban)

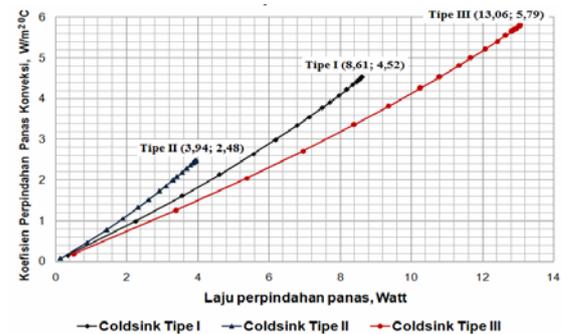


Gambar 8. Grafik laju perpindahan panas (Q) terhadap waktu tanpa beban untuk masing-masing tipe *coldsink*.

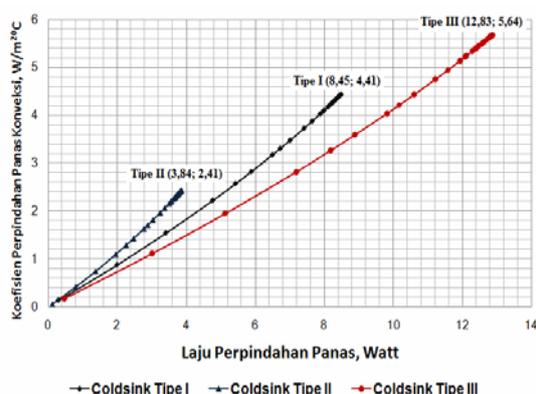


Gambar 9. Grafik laju perpindahan panas (Q) terhadap waktu dengan beban untuk masing-masing tipe

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan kenaikan koefisien perpindahan panas konveksi sebanding dengan kenaikan laju perpindahan panasnya. Kenaikan tertinggi dicapai pada coldsink tipe III masing-masing untuk koefisien perpindahan panas konveksi dan laju perpindahan panas sebesar $5,79$ W/m²°C dan 13,06 Watt (tanpa beban) serta $5,64$ W/m²°C dan 12,83 Watt (dengan beban).



Gambar 10. Grafik koefisien perpindahan panas konveksi (h) terhadap laju perpindahan panas (Q) tanpa beban untuk masing-masing tipe *coldsink*.



Gambar 11. Grafik koefisien perpindahan panas konveksi (h) terhadap laju perpindahan panas (Q) dengan beban untuk masing-masing tipe *coldsink*

Dari ketiga tipe sirip yang diuji diperoleh bahwa perpindahan kalor yang paling efektif diberikan oleh tipe sirip No 3. Yaitu sirip berbentuk silindris. Perpindahan kalor yang diperoleh adalah 12,83 watt/ m^2 °C. Perpindahan kalor yang terkecil diperoleh pada sirip tipe No 2. Yaitu tipe slot dengan laju perpindahan kalor sebesar 3,85 watt/ m^2 °C.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Hasil pengukuran keadaan tanpa beban pada kotak penyimpanan darah suhu terendah yang dapat dicapai untuk masing-masing titik pengukuran (T1 dan T2) adalah 5,2°C dan 5,4°C dengan waktu pengukuran 105 menit.
2. Dalam keadaan dengan beban (darah), suhu terendah yang dapat dicapai untuk masing-masing titik pengukuran (T1 dan T2) adalah 5,8°C dan 6,2°C dengan waktu pengukuran 145 menit.
3. Pada pengujian *coldsink* tipe I pada kondisi waktu 68 menit dengan laju perpindahan panas sebesar 12,2 watt maka terjadi aliran panas *steady state*.
4. Pada pengujian *coldsink* tipe II pada kondisi waktu 80 menit dengan laju perpindahan panas 8 watt terjadi aliran panas *steady state*.
5. Pada pengujian *coldsink* tipe III pada kondisi waktu 70 menit dengan laju perpindahan panas 4 watt terjadi aliran panas *steady state*.
6. Jadi penukar kalor yang efektif untuk dapat digunakan pada kotak penyimpanan Darah portable maka didapat sebagai berikut; pada *coldsink* tipe III untuk koefisien. Perpindahan panas (Q) terhadap waktu 105 menit dan 12,83 dgn beban. Dengan temperatur T1 dan T2 adalah 5,2 °C dan 5,4 °C
7. Pada penelitian ini, Suatu teknologi termoelektrik *cooler* (TEC) dengan mengkaji system penukar kalor yang efektif menggunakan system pompa kalor. Panas didalam kotak akan diserap oleh Modul peltier dan di buang ke

atmosfir yang mempunyai temperatur yang lebih tinggi. Untuk meningkatkan laju perpindahan panas atmosfer; maka di pasang heatsink atau *CPU Cooler* pada sisi panas Modul peltier. Begitu juga untuk meningkatkan laju perpindahan panas pada sisi dingin Modul peltier di pasang *coldsink* yang ber beda tipenya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada : Muhammad Ilham Maulana, Syiful Huzni dan para mahasiswa di laboratorium konversi, khususnya Faisal Amir, Periatna Suheri dan Armiyah, atas bantuannya selama penelitian ini dilakukan.

Daftar Kepustakaan

- [1] National AIDS Control Organisation (NACO) 2007, *Guidelines for setting up blood storage centres*, Ministry of Health and Family Welfare, Government of India, New Delhi, India.
- [2] Astrain, D, Vian, JG, Albizua, J 2005. *Computational model for refrigerators based on peltier effect application*, *Journal of Applied Thermal Engineering*, vol.25, no.4, pp.3149-3162
- [3] Metzger, T, Huebener, RP 1999. 'Modelling and cooling behavior of peltier cascade', *Journal of Cryogenics*, vol.39, no.4, pp.235-239.
- [4] Incropera P., 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, Amerika.
- [5] Welly, Wicks dkk. 2002. *Dasar-dasar Fenomena Transport*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [6] Yunus A. Cengel. 2002. *Fundamental of Thermal-Fluid Sciences*. Mc Graw Hill, Amerika.
- [7] A. Bar-Cohen and W.M. Rohsenow. "Thermally Optimum Spacing of Vertical Natural Convection Cooled Parallel Plates." *Journal of Heat Transfer* 106 (1984), p116.