

Kaji Eksperimental Perpindahan Kalor Pada Sistem Lemari Penyimpan Darah

Darmawan¹, Ahmad Syuhada² dan Zahrul Fuadi²

¹Dinas Pendidikan Kab. Bireuen

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7 Darussalam Banda Aceh 23111
E-mail: syuhada_mech@yahoo.com

Abstract

Blood is the fluid found in all living things serve to transmit substances and oxygen needed by body tissues, carrying chemical products of metabolism, as well as the body's defense against viruses or bacteria. If blood will be donated to another person, the blood will be stored in a blood bag and should be used immediately to the recipient blood. If it is not used directly as they are not needed or should be taken to another place, it must be kept comfortable. Because storage temperature greatly affects the quality of the blood and age of stored blood. Blood storage temperature range from 1 °C to 6 °C, for this reason, it is necessary that both the thermal insulation material storage chamber walls of blood to maintain the desired temperature. Insulation materials used with the value of thermal conductivity (k) is low styrofoam. The purpose of this study was to obtain a blood storage closet systems portable lightweight and easily moveable..

Keywords: Heat transfer, thermoelectric, blood storage.

1. Pendahuluan

Darah adalah cairan yang terdapat pada semua makhluk hidup (kecuali tumbuhan) tingkat tinggi yang berfungsi mengirimkan zat-zat dan oksigen yang dibutuhkan oleh jaringan tubuh, mengangkut bahan-bahan kimia hasil metabolisme, dan juga sebagai pertahanan tubuh terhadap virus atau bakteri [1]. Jika darah akan didonorkan untuk orang lain, darah akan ditampung sementara dalam kantong darah dan sebaiknya langsung digunakan kepada si penerima darah. Jika tidak digunakan langsung karena belum diperlukan ataupun harus dibawa ke tempat lain, maka harus disimpan dalam *refrigerator* karena darah yang disimpan di luar tubuh akan mengalami perubahan-perubahan bahkan rusak. Karena temperatur penyimpanan sangat mempengaruhi terhadap kualitas darah dan usia dari darah yang disimpan. Temperatur penyimpanan darah berkisar antara 1 °C hingga 6 °C. Dalam penyimpanan darah di *refrigerator*, temperatur harus dijaga tetap stabil dan setiap saat dilakukan pengontrolan [2], [3], [4].

Temperatur penyimpanan darah merupakan salah satu kondisi pendinginan yang merupakan suatu upaya penurunan temperatur dengan cara penyerapan panas dari suatu sistem hingga mencapai temperatur yang diinginkan. Proses pendinginan telah banyak dilakukan untuk berbagai keperluan, seperti pada industri dan rumah tangga bahkan untuk keperluan

medis. Tujuannya adalah untuk menjaga kualitas dan keawetan suatu produk.

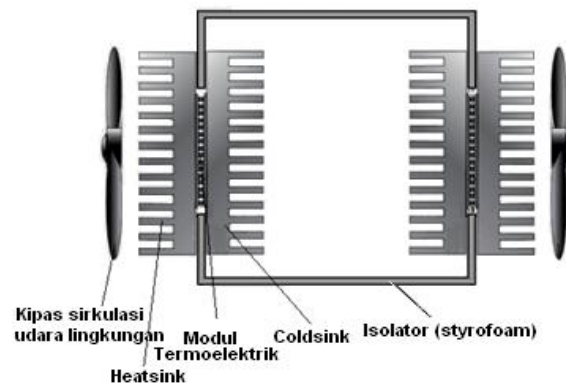
Demikian juga untuk darah, untuk menjaga kualitas dan keawetannya perlu dijaga kestabilan temperatur selama proses penyimpanan darah. Untuk itu, diperlukan lemari penyimpanan darah yang benar-benar mampu menjaga kondisinya tetap baik. Lemari penyimpanan darah yang baik adalah yang tidak mengalami laju perpindahan panas yang besar dari ruang yang dingin ke lingkungan. Karena itulah, diperlukan isolasi panas yang baik dari bahan dinding ruang penyimpanan darah untuk mempertahankan temperatur yang diinginkan, baik bahan isolasi yang digunakan maupun ketebalan dari isolasi tersebut. Bahan-bahan isolator yang digunakan biasanya mempunyai nilai konduktivitas termal (k) yang rendah misalnya *styrofoam*, *polyuretan*, *glass wool* dan lain-lain [5], [6], [7]. Untuk menjawab permasalahan tersebut maka dikaji sistem isolasi perpindahan panas dari sebuah lemari penyimpanan darah portabel dengan menggunakan modul peltier sebagai pompa kalornya. Lemari penyimpanan darah hasil desain tersebut akan memiliki beberapa keunggulan yaitu: kebutuhan energi yang relatif kecil dan mudah dipindah-pindahkan.

Tujuan dari kajian ini untuk mendapatkan sebuah sistem lemari penyimpanan darah *portable* yang ringan dan mudah dipindah-pindahkan serta mempunyai daya yang kecil dengan temperatur optimum dengan berbagai variasi ketebalan isolator yang diberikan

2. Metode Penelitian

2.1. Peralatan Pengujian Penyimpanan Darah

Perencanaan dimensi lemari penyimpan darah yaitu 10 x 10 x 10 cm. dengan bahan isolasi dari styrofoam dengan ketebalan yang divariasikan yaitu 2 cm, 4 cm dan 6 cm. (lihat Gambar 1). Untuk dinding dalam lemari dipakai pelat aluminium.



Gambar 1. Desain Peralatan Lemari Penyimpanan Darah

2.2. Cara Kerja Alat

Adapun cara kerja lemari penyimpan darah dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 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 Gammaxx 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 ini.
- Pada saat catu daya tegangan searah (arus DC) diberikan, modul termoelektrik (peltier) mulai bekerja, *coldsink* sisi dingin mulai menjadi dingin, dan *heatsink* sisi panas mulai menjadi panas.
- Pada bagian dalam lemari penyimpan darah, sisi dingin hanya ditempel *coldsink* bersirip tanpa menggunakan fan.
- Pada bagian luar lemari, udara lingkungan dimasukan oleh fan sisi panas dan ditekan agar melewati *heatpipe* dengan sirip-sirip *heatsink*. Udara yang keluar dari sisi panas mempunyai temperatur lebih tinggi dari pada udara lingkungan sekitar.
- Proses pendinginan lemari penyimpan darah terus berlangsung dalam waktu tertentu secara terus menerus sehingga mendekati suhu yang diinginkan.

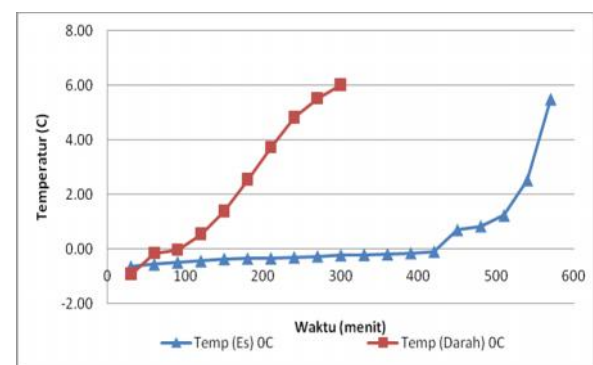
- Material yang diuji adalah es (air dingin) dan darah lembu. Pengujian es dilakukan karena data-data air sudah cukup lengkap ditabelkan di hampir semua literatur. Sedangkan data material darah belum ada, sehingga sifat air dapat dibandingkan dengan sifat darah lembu.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Analisa Hasil Pengukuran

3.1.1. Analisa hasil pengukuran dengan tebal isolasi 2 cm

Distribusi temperatur pada darah dan es (air dingin) dari hasil data pengukuran yang membutuhkan waktu selama 570 menit, seperti diperlihatkan pada Gambar.2 maka dapat dijelaskan bahwa es setelah 30 menit dalam kotak penyimpan dengan temperatur $-0,65^{\circ}\text{C}$ dan darah masih mencapai $-0,93^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 90 menit temperatur es mencapai $0,57^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah mencapai $-0,16^{\circ}\text{C}$. Penyimpanan 150 menit temperatur es turun lagi mencapai $-0,37^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $1,38^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan darah 210 menit temperatur es masih mencapai $-0,35^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur telah mencapai $3,73^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan darah 240 menit temperatur es masih mencapai $-0,31^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah mencapai $4,82^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 270 menit temperatur es telah mencapai $-0,28^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $5,53^{\circ}\text{C}$.



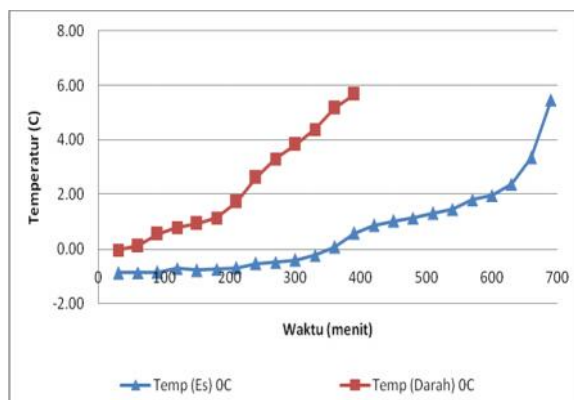
Gambar 2. Laju Pemanasan dengan Tebal Isolasi 2 cm

Setelah penyimpanan 300 menit temperatur es telah mencapai $0,24^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $6,02^{\circ}\text{C}$, ketika waktu mencapai 300 menit data untuk darah tidak diambil lagi karena temperatur darah yang masih aman adalah hingga temperatur 6°C . Sedangkan untuk temperatur es sampai waktu 480 menit masih $0,83^{\circ}\text{C}$. Setelah mencapai waktu 510 menit mencapai temperatur $1,22^{\circ}\text{C}$. Setelah waktu 540 temperatur air dingin telah mencapai $2,52^{\circ}\text{C}$. Dan pada waktu mencapai

570 menit pengujian telah mencapai $5,49^{\circ}\text{C}$. Pada pengukuran ini temperatur air es tidak konstan atau naik turun karena penempatan sensor termokopel berpindah-pindah.

3.1.2. Analisa hasil pengukuran dengan tebal isolasi 4 cm

Distribusi temperatur pada darah dan es (air dingin) dari hasil data pengukuran yang membutuhkan waktu selama 690 menit, seperti diperlihatkan pada Gambar.3 maka dapat dijelaskan bahwa es setelah 30 menit dalam kotak penyimpanan bertemperatur $-0,87^{\circ}\text{C}$ dan darah masih mencapai $-0,04^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 90 menit temperatur es mencapai $-0,85^{\circ}\text{C}$, temperatur darah telah mencapai $0,55^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 150 menit temperatur es turun lagi, temperaturnya mencapai $-0,77^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $0,94^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan darah 210 menit temperatur es masih mencapai $-0,69^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $1,72^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 270 menit temperatur es telah mencapai $-0,48^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $3,30^{\circ}\text{C}$.



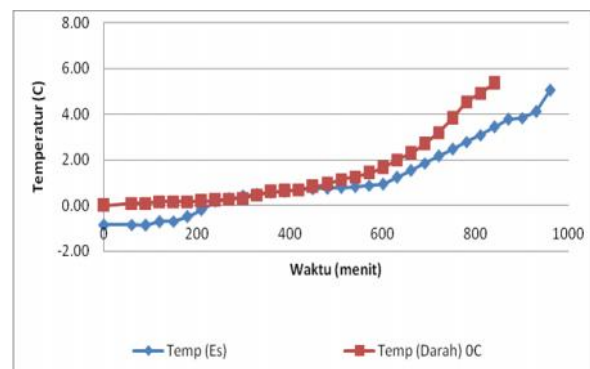
Gambar 3. Laju Pemanasan dengan Tebal Isolasi 4 cm

Setelah penyimpanan darah 330 menit temperatur es masih mencapai $-0,22^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur darah telah mencapai $4,38^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 390 menit temperatur es telah mencapai $-0,59^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $5,6^{\circ}\text{C}$. Pada waktu yang 450 menit data untuk darah tidak diambil lagi karena temperatur darah yang aman adalah hingga temperatur 6°C . Sedangkan untuk temperatur es sampai waktu 450 menit sudah $1,03^{\circ}\text{C}$, setelah mencapai waktu 510 menit mencapai temperatur $1,3^{\circ}\text{C}$ setelah waktu 570 menit temperatur air dingin telah mencapai $1,8^{\circ}\text{C}$. Pada waktu 630 menit telah mencapai $2,38^{\circ}\text{C}$. Dan pada waktu mencapai 690 menit pengujian telah mencapai $5,5^{\circ}\text{C}$. Distribusi temperatur pada ketebalan isolasi dengan ketebalan ini yaitu 4 cm sudah agak stabil.

3.1.3. Analisa hasil pengukuran dengan tebal isolasi 6 cm

Distribusi temperatur pada darah dan es (air dingin) dari hasil data pengukuran yang membutuhkan waktu selama 570 menit, seperti diperlihatkan pada Gambar.4 Maka dapat dijelaskan bahwa es, dimulai pada 0 menit dalam kotak penyimpanan bertemperatur $-0,85^{\circ}\text{C}$ dan darah masih pada 0°C . Setelah penyimpanan 90 menit temperatur es masih $0,86^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur darah telah mencapai $0,09^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 180 menit es turun lagi mencapai $-0,4^{\circ}\text{C}$, sedangkan darah mencapai $0,17^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan darah 270 menit temperatur es masih $0,29^{\circ}\text{C}$ sedangkan darah telah mencapai $0,28^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 390 menit es telah mencapai $0,60^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur darah telah mencapai $0,63^{\circ}\text{C}$.

Setelah penyimpanan darah 480 menit temperatur es masih mencapai $0,2^{\circ}\text{C}$ sedangkan darah telah mencapai $0,9^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan 600 menit es mencapai $0,92^{\circ}\text{C}$, temperatur darah telah mencapai $1,65^{\circ}\text{C}$. Setelah penyimpanan darah 690 menit temperatur es masih mencapai $1,84^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $2,7^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4. Laju Pemanasan dengan Tebal Isolasi 6 cm

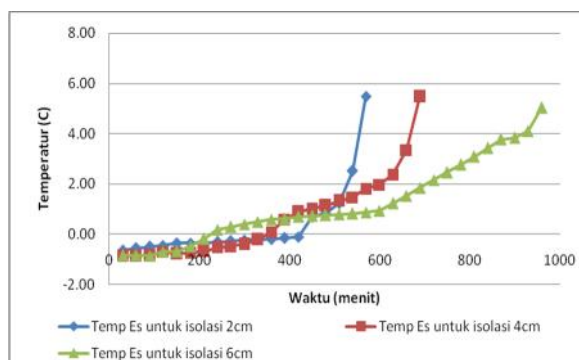
Setelah penyimpan 780 menit temperatur es mencapai $2,77^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur darah telah mencapai $4,52^{\circ}\text{C}$. Sedangkan untuk temperatur es sampai waktu 840 menit sudah $3,43^{\circ}\text{C}$ dan darah telah mencapai $5,34^{\circ}\text{C}$ dan setelah waktu 840 menit pengukuran temperatur darah tidak dilakukan lagi karena telah mencapai di atas 5°C derajat. Setelah mencapai waktu 900 menit temperatur air dingin mencapai $3,8^{\circ}\text{C}$. Setelah waktu 960 temperatur air dingin telah mencapai $5,00^{\circ}\text{C}$. Distribusi temperatur pada ketebalan isolasi dengan ketebalan ini yaitu 6 cm sudah sangat stabil.

3.2. Pembahasan

Pendingin termoelektrik merupakan *solid state technology* yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin selain sistem *vapor compression* yang

masih memanfaatkan *refrigerant*, dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang menggunakan *refrigeran* sebagai media penyerap kalor, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala besar dan kecil. Teknologi *termoelektrik* telah digunakan pada beberapa bidang aplikasi seperti, peralatan militer, peralatan ruang angkasa, produk-produk industri yang memanfaatkan modul termoelektrik sebagai pendingin.

Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan pergerakan elektron ke sisi panas modul. 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 (*conducted heat*) dan *Joule Heat* yang nilainya akan sama dengan kuadrat dari 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*.



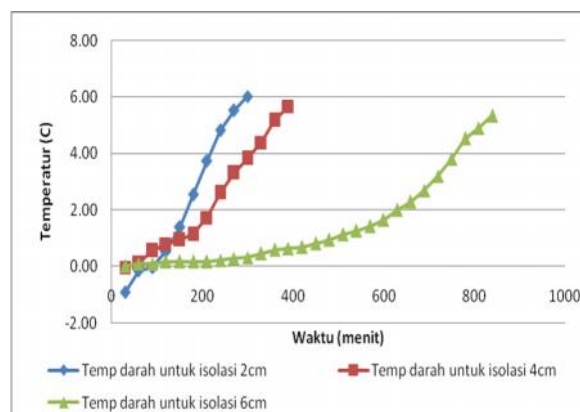
Gambar 5. Distribusi temperatur pada penyimpanan es (air dingin)

Setelah dianalisa dari data pengukuran dari penyimpanan es ataupun air dingin dalam kotak penyimpan dengan ketebalan dinding isolasi 2 cm, 4 cm dan 6 cm dengan material dinding penyimpan *styrofoam* dapat diketahui waktu perubahan temperatur es (air dingin) dan darah. Dari distribusi kenaikan temperatur selama penyimpanan pada ketebalan dinding 2 cm untuk mencapai temperatur 5 °C dari dimulai penyimpanan -0,65 °C membutuhkan waktu 500 menit. Pada ketebalan dinding penyimpan 4 cm untuk mencapai 5 °C dari mulai penyimpanan -0,87 °C membutuhkan waktu 650 menit. Sedangkan untuk ketebalan isolasi 6 cm, dari temperatur 0,85 °C hingga temperatur 5 °C membutuhkan waktu penyimpanan 960 menit. Dari Gambar.4 dan Gambar.5 terlihat bahwa distribusi temperatur pada

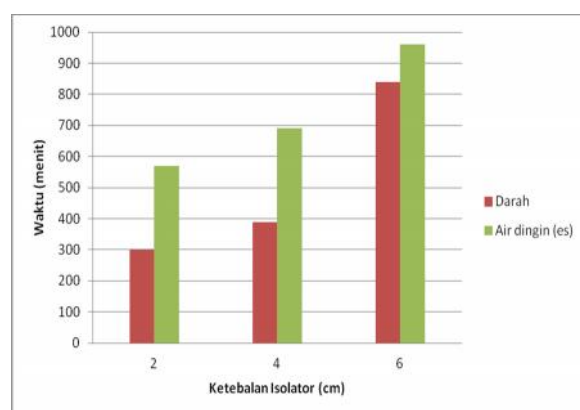
ketebalan 2 cm tidak stabil, hal ini terjadi karena laju perpindahan panas yang lebih cepat jika dibandingkan dengan laju perpindahan panas dengan ketebalan 4 cm dan 6 cm.

Berdasarkan distribusi kenaikan temperatur selama penyimpanan pada ketebalan dinding 2 cm untuk mencapai temperatur 6 °C dari dimulai penyimpanan -0,93 °C membutuhkan waktu 300 menit. Pada ketebalan dinding penyimpanan 4 cm untuk mencapai 5,6 °C dari mulai penyimpanan, -0,04 °C, membutuhkan waktu 390 menit. Sedangkan untuk ketebalan isolasi 6 cm dari temperatur 0 °C hingga temperatur 5,3 °C, membutuhkan waktu penyimpanan 840 menit.

Jika dilihat lama waktu penyimpanan untuk mencapai temperatur 5 °C dalam kotak isolasi dari 0 °C, darah lebih cepat dari pada air dingin (es) hal ini disebabkan oleh beda panas jenis material darah dengan panas jenis air.



Gambar 6. Distribusi temperatur pada penyimpanan darah



Gambar 7. Lama waktu darah dan es bertahan pada suhu di bawah 6 °C

Dari Gambar.7 ditunjukkan bahwa waktu bertahan agar suhu darah tetap berada di bawah 6 °C pada penyimpanan darah dalam kotak penyimpan untuk ketebalan kotak 2 cm adalah 300 menit, ketebalan 4 cm adalah 390 menit dan ketebalan 6 cm adalah 840 menit.

Berdasarkan hasil pengukuran data, disarankan untuk menggunakan kotak penyimpanan darah dengan ketebalan 6 cm. Namun demikian dapat juga digunakan kotak penyimpanan darah dengan ketebalan 2 cm atau 4 cm, tergantung pada jarak dan lama perjalanan yang dibutuhkan sesuai dengan tujuan penelitian untuk mendapatkan sebuah sistem lemari penyimpanan darah *portable* yang ringan dan mudah dipindah-pindahkan serta mempunyai daya yang kecil, jika tujuan penggunaannya hanya untuk membawa darah dalam kota, cukup menggunakan kotak penyimpanan darah dengan ketebalan 2 cm saja.

Seperti halnya kotak penyimpanan darah, kotak penyimpanan ikan yang biasa digunakan oleh penggalas ikan, juga terbuat dari *styrofoam*. Umumnya untuk penggalas yang membawa ikan antar kota atau antar provinsi, biasanya menggunakan kotak *styrofoam* yang dilapisi dengan plastik sehingga temperatur yang di jaga lebih lama dan juga anti pecah dibandingkan dengan kotak *styrofoam* biasa yang tidak dilapisi oleh apapun. Namun jika hanya untuk dalam kota saja, dapat digunakan kotak *styrofoam* biasa yang harganya jauh lebih murah dan masih mampu menjaga keawetan dan kesegaran ikan yang disimpan didalamnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kestabilan temperatur dalam kotak penyimpanan darah berbanding lurus dengan ketebalan isolator.
2. Dengan tebal isolator 2 cm, darah dapat disimpan pada temperatur di bawah 5 °C selama 300 menit. Dengan tebal isolator 4 cm, waktu efektif penyimpanan darah 400 menit dan dengan tebal 6 cm selama 840 menit.
3. Penggunaan kotak penyimpanan darah untuk waktu 2-3 jam dapat digunakan dengan material *styrofoam* ketebalan 4 cm dan 5-6 jam untuk ketebalan 6 cm.

Daftar Pustaka

- [1] <http://id.wikipedia.org/wiki/Darah>. Diakses 10 Desember 2012.
- [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] EE IIT. 2008. *Refrigeration and Air Conditioning*, Kharagpur, India.
- [4] Metzger, T, Huebener, RP 1999. 'Modelling and Cooling Behavior of Peltier Cascade', *Journal of Cryogenics*, vol.39, no.4, pp.235-239.

- [5] <http://www.ferrotec.com/products/thermals/modules>. Diakses 10 Desember 2012.
- [6] Incropera P., 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, Amerika.
- [7] 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.