



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENERAPAN SISTEM PENDINGINAN BERTINGKAT  
PADA KOTAK PENDINGIN DARAH  
BERBASIS TERMOELEKTRIK DAN HEAT PIPE**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**FERDIANSYAH NURUDIN ISKANDAR  
04 05 22 021 8**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPOK  
JANUARI 2009**

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Ferdiansyah Nurudin Iskandar  
04 05 22 021 8**

**05 Januari 2009**

## PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Ferdiansyah Nurudin Iskandar  
NPM : 0405220218  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : PENERAPAN SISTEM PENDINGINAN  
BERTINGKAT PADA KOTAK PENDINGIN  
DARAH BERBASIS TERMOELEKTRIK DAN  
HEAT PIPE

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Nandy Putra ( )

Penguji : Prof. Dr.-Ing. Raldi Artono Koestoer ( )

Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng ( )

Penguji : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin M.Eng ( )

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan nikmat-Nya karena penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam penelitian ini, Penulis banyak menerima saran, bimbingan, bantuan dan informasi dari berbagai pihak, sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Untuk itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak Dr-Ing Nandy Putra, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu & tenaga dalam memberikan saran serta bimbingan.
- (2) Bapak Prof. Dr.-Ing. Raldi Artono Koestoer, yang turut membantu memberikan saran dan dorongan.
- (3) Bapak Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng, yang telah memberikan semangat dan dorongan.
- (4) Bapak Dr.-Ing. Ir. Nasruddin M.Eng, yang telah memberikan sumbangan berupa termokopel yang penulis rasakan sangat besar manfaatnya dalam pengujian dan pengambilan data di laboratorium.
- (5) Mas Udiyono, yang senantiasa membantu Penulis di laboratorium Perpindahan Kalor Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- (6) Mas Sarwani, Mas Awang, dan Mas Yasin yang membantu dalam pengerjaan alat.
- (7) Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa, sampai penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- (8) Rekan-rekan di Laboratorium Perpindahan Kalor Universitas Indonesia, yang sama-sama belajar dan berjuang menyelesaikan penelitian skripsi.
- (9) Seluruh teman-teman Penulis di kampus yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu baik dalam penelitian maupun penulisan.
- (10) Dan seluruh karyawan staf Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah membantu memberi saran, menyediakan dan meminjamkan peralatan serta sarana dalam pengerjaan alat.

Akhir kata, penulis berharap Allah sub`hanahu wa ta`ala berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 5 Januari 2009

Penulis



**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ferdiansyah Nurudin Iskandar  
NPM : 0405220218  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENERAPAN SISTEM PENDINGINAN BERTINGKAT PADA KOTAK  
PENDINGIN DARAH BERBASIS TERMOELEKTRIK DAN HEAT PIPE**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 5 Januari 2009  
Yang menyatakan

( Ferdiansyah Nurudin Iskandar)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	5
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	5
1.4 PEMBATASAN MASALAH.....	7
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	7
1.6 SITEMATIKA PENULISAN .....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>10</b>
2.1 DARAH .....	10
2.1.1 Komposisi Darah.....	10
2.1.2 Rantai Dingin Darah ( <i>cold chain</i> ).....	11
2.2 PENDINGIN TERMOELEKTRIK .....	12
2.2.1 Sejarah Peltier .....	12
2.2.2 Prinsip Kerja Pendingin Termoelektrik .....	12
2.2.3 Parameter Penggunaan Elemen Termoelektrik.....	14
2.2.4 Komponen Dasar Sistem Pendingin Termoelektrik.....	15
2.2.5 Sistem Termoelektrik Bertingkat .....	17
2.2.6 Aplikasi Termoelektrik Secara Garis Besar .....	18
2.3 HEAT PIPE.....	19
2.3.1 Sejarah Heat Pipe .....	19
2.3.2 Prinsip Kerja Heat Pipe .....	20
2.3.3 Struktur Heat Pipe.....	21
2.4 PENGEMBANGAN SISTEM PENDINGIN TERMOELEKTRIK.....	24
2.4.1 <i>Termosyphon with Phase Change</i> (TSF) .....	24
2.4.2 <i>Phase Change Material</i> (PCM) .....	25
2.4.3 Penggunaan Heat Pipe dan Vakum Sebagai Isolasi.....	27
2.4.4 Sistem Pendinginan Bertingkat .....	29
2.4.5 Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Ruangan.....	31
2.5 PERBANDINGAN KALOR PADA ALAT BLOOD CARRIER.....	32
2.5.1 Perpindahan Kalor Konduksi .....	32
2.5.2 Perpindahan Kalor Konveksi .....	33
2.5.3 Tahanan Kontak Termal.....	34
<b>BAB III PROSES PERANCANGAN DAN PEMBUATAN .....</b>	<b>36</b>
3.1 STUDI KASUS <i>BLOOD CARRIER</i> AWAL .....	36

3.2	DAFTAR TUNTUTAN <i>BLOOD CARRIER</i> .....	38
3.3	KONSEP PEMECAHAN .....	40
3.4	PEMBUATAN ALAT .....	49
3.5	PERAKITAN ALAT .....	51
3.7	SPEKIFIKASI ALAT .....	56
	<b>BAB IV PENGUJIAN <i>BLOOD CARRIER</i> .....</b>	<b>58</b>
4.1	TUJUAN PENGUJIAN .....	58
4.2	KOMPONEN PENGUJIAN .....	58
4.2.1	Termokopel .....	58
4.2.2	Data Akuisisi .....	63
4.2.3	<i>DC Power Supply</i> .....	65
4.2.4	Refrigerator / Lemari Pendingin .....	67
4.3	INSTALASI PENGUJIAN .....	68
4.4	PROSEDUR KALIBRASI .....	70
4.5	VARIASI PENGAMBILAN DATA .....	74
	<b>BAB V HASIL DAN ANALISA .....</b>	<b>75</b>
5.1	HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN .....	75
5.2	ANALISA GRAFIK DISTRIBUSI TEMPERATUR .....	75
5.3	ANALISA GRAFIK TEMPERATUR <i>CABIN</i> .....	81
5.4	ANALISA KALOR YANG HILANG .....	87
5.4	PERHITUNGAN COP .....	90
5.5.1	Perhitungan COP pada sistem Pendinginan Konvensional .....	90
5.5.2	Perhitungan COP pada sistem Pendinginan Bertingkat .....	95
5.5	ANALISA COP PELTIER .....	90
	<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>102</b>
6.1	KESIMPULAN .....	102
6.2	SARAN .....	103
	DAFTAR PUSTAKA .....	104
	LAMPIRAN .....	105



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Skema bagian dari elemen peltier.....	3
Gambar 1.2	Heatsink dengan teknologi <i>heatpipe</i> .....	4
Gambar 1.3	<i>Roadmap Research</i> .....	6
Gambar 2.1	Tube berisi darah yang dipisahkan antara plasma dan selnya dengan alat putar sentrifugal .....	11
Gambar 2.2	Skema aliran peltier.....	13
Gambar 2.3	Arah aliran elektron pada modul termoelektrik .....	14
Gambar 2.4	Profil temperatur modul TEC.....	15
Gambar 2.5	Komponen dasar sistem pendingin termoelektrik.....	16
Gambar 2.6	Beberapa susunan sistem termoelektrik .....	17
Gambar 2.7	Modul sistem bertingkat.....	18
Gambar 2.8	Prinsip kerja <i>heat pipe</i> .....	20
Gambar 2.9	Struktur <i>heat pipe</i> .....	21
Gambar 2.10	Diagram termal TSF.....	25
Gambar 2.11	Perbandingan performa sistem pendingin termoelektrik yang menggunakan PCM dan <i>heatsink</i> normal pada sisi dingin .....	26
Gambar 2.12	Variasi temperatur pada sisi dingin selama proses pendinginan dengan menggunakan PCM maupun <i>heatsink</i> normal.....	26
Gambar 2.13	Variasi temperatur pada sisi dingin setelah aliran listrik pada Pada sistem dimatikan dengan menggunakan PCM maupun <i>heatsink</i> normal .....	27
Gambar 2.14	Variasi temperatur <i>cabin</i> pada sistem pendingin dengan metode vakum .....	28
Gambar 2.15	Sistem pendinginan bertingkat.....	29
Gambar 2.16	Sistem pendinginan bertingkat dengan <i>heatsink-heatpipe</i> tambahan.....	30
Gambar 2.17	Skematik termoelektrik <i>air conditioner</i> .....	31
Gambar 2.18	Penurunan temperatur karna adanya hambatan kontak.....	35
Gambar 3.1	Konsep pemecahan.....	40
Gambar 3.2	Elemen peltier disusun bertingkat.....	41
Gambar 3.3	Alumunium <i>spacer block</i> .....	42
Gambar 3.4	<i>Acrylic case</i> .....	43
Gambar 3.5	Alumunium <i>cold sink</i> .....	44
Gambar 3.6	<i>Tube 3 mL</i> .....	44
Gambar 3.7	Isolasi dari bahan sterofoam.....	45
Gambar 3.8	Kipas DC .....	46
Gambar 3.9	<i>Heatsink-heatpipe</i> dengan tambahan <i>Fan</i> .....	47
Gambar 3.10	<i>Rack</i> Plastik .....	47
Gambar 3.11	Alumunium <i>casing</i> .....	48
Gambar 3.12	<i>Power Supply DC</i> .....	49
Gambar 3.13	Pemasangan sterofoam ke dalam <i>acrylic case</i> .....	51
Gambar 3.14	Pemasangan alumunium <i>case</i> .....	52
Gambar 3.15	Pemasangan isolasi dan alumunium <i>case</i> .....	52
Gambar 3.16	Pemasangan rak plastik .....	53
Gambar 3.17	Pemasangan isolasi untuk tutup.....	53

Gambar 3.18	Pemasangan <i>cold sink</i> .....	54
Gambar 3.19	Pemasangan <i>spacer block</i> .....	54
Gambar 3.20	Pemasangan peltier dan <i>heatsink-heatpipe</i> .....	55
Gambar 3.21	Perakitan selesai .....	56
Gambar 3.22	<i>Blood Carrier</i> .....	57
Gambar 4.1	Termokopel tipe K.....	59
Gambar 4.2	Termokopel yang telah disambung .....	59
Gambar 4.3	Posisi termokopel ambient .....	60
Gambar 4.4	Posisi termokopel <i>cold sink</i> .....	61
Gambar 4.5	Posisi termokopel <i>cabin</i> .....	61
Gambar 4.6	Posisi termokopel pada peltier.....	62
Gambar 4.7	Posisi termokopel <i>fin heatpipe</i> .....	63
Gambar 4.8	Data akuisisi .....	64
Gambar 4.9	Tampilan visual <i>Advantech Visidaq</i> .....	64
Gambar 4.10	<i>Output data Advantech Visidaq</i> .....	65
Gambar 4.11	Adaptor DC .....	66
Gambar 4.12	<i>Power supply DC</i> .....	66
Gambar 4.13	Lemari pendingin.....	67
Gambar 4.14	<i>Blood carrier</i> yang dimasukan kedalam lemari pendingin .....	68
Gambar 4.15	Skema instalasi pengujian alat.....	69
Gambar 4.16	Foto instalasi pengujian alat .....	69
Gambar 4.17	<i>Interface Adam.net Utility</i> .....	70
Gambar 4.18	Nilai pembacaan termokopel pada suhu 99 °C.....	72
Gambar 4.19	Variasi beban pendinginan .....	74
Gambar 5.1	Pemeriksaan dengan sensor infra merah .....	86
Gambar 5.2	Kondisi akhir beban setelah pengujian.....	87
Gambar 5.3	Skematik isolasi <i>blood carrier</i> secara 2 dimensi.....	88

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis fluida kerja pada <i>heat pipe</i> .....	22
Tabel 2.2	Karakteristik pengoperasian beberapa <i>heat pipe</i> .....	23
Tabel 3.1	Analisa <i>blood carrier</i> awal.....	36
Tabel 3.2	Daftar tuntutan .....	38
Tabel 5.1	Konduktivitas termal, luas total, dan jarak termal material isolasi ....	89
Tabel 5.2	Massa dan kalor spesifik beban yang didinginkan.....	91
Tabel 5.3	Hasil kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan beban.....	94



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel hasil pengujian dengan beban 150 mL Konvensional .....	106
Lampiran 2	Tabel hasil pengujian dengan beban 100 mL Konvensional .....	107
Lampiran 3	Tabel hasil pengujian dengan beban 50 mL Konvensional .....	108
Lampiran 4	Tabel hasil pengujian dengan beban 0 mL Konvensional .....	109
Lampiran 5	Tabel hasil pengujian dengan beban 150 mL Cascade .....	110
Lampiran 6	Tabel hasil pengujian dengan beban 100 mL Cascade .....	111
Lampiran 7	Tabel hasil pengujian dengan beban 50 mL Cascade .....	112
Lampiran 8	Tabel hasil pengujian dengan beban 0 mL Cascade .....	113



## DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Arti</b>	<b>Satuan</b>
$A$	Luas	$m^2$
$c_p$	Kalor spesifik pada tekanan konstan	J/kg.K
$h$	Koefisien perpindahan kalor konveksi	$W/m^2K$
$I$	Arus Listrik	Amper
$k$	Konduktivitas termal	$W/m.K$
$l/L$	Panjang	m
$\dot{m}$	Laju aliran massa	kg/s
$P$	Daya	W
$q$	Laju perpindahan kalor	W
$Q$	Laju aliran	$m^3/s$
$R$	Hambatan listrik	Ohm
$R_t$	Hambatan termal total	$^{\circ}C/W$
$t$	Tebal	m
$T$	Temperatur	$^{\circ}C$
$U$	Koefisien perpindahan kalor keseluruhan	$W/m^2K$
$V$	Tegangan	Volt
$x$	Jarak	m

### **Huruf Yunani**

$\alpha$	Koefisien Seebeck	V/K
$\rho$	Densitas	$kg/m^3$
$\eta$	<i>Efficiency</i>	-

### **Subskrip**

$P1 Hot$	Peltier no 1 sisi panas
$P2 Hot$	Peltier no 2 sisi panas
$P1 Cold$	Peltier no 1 sisi dingin
$P2 Cold$	Peltier no 2 sisi dingin

## ABSTRAK

Nama : Ferdiansyah Nurudin Iskandar  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : PENERAPAN SISTEM PENDINGINAN  
BERTINGKAT PADA KOTAK PENDINGIN  
DARAH BERBASIS TERMoeLEKTRIK DAN  
HEAT PIPE

Gizi buruk merupakan kejadian kronis dan bukan kejadian yang tiba-tiba. Kelemahan pada kasus gizi buruk yang mencuat akhir-akhir ini adalah lemahnya akan pemantauan status gizi di suatu daerah.

Untuk mengetahui kekurangan gizi khususnya pada anemia gizi besi biasanya dipantau dengan pengambilan sampel darah di suatu daerah, baik di perkotaan, pedesaan maupun di daerah terpencil. Pengambilan sampel darah di daerah terpencil yang beriklim tropis dan panas khususnya Indonesia sangatlah sulit, sehingga sangat dibutuhkan media penyimpanan darah yang tahan dan tidak terpengaruh dengan temperatur lingkungan.

Kelemahan media penyimpanan darah yang ada sekarang adalah sulitnya mempertahankan temperatur *cabin* pada 4-6 °C ketika temperatur lingkungan tiba-tiba naik sangat tinggi. Selain itu kecepatan pendinginan yang buruk ketika berada pada beban penuh juga menimbulkan masalah pada sampel darah yang disimpan.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengembangkan alat *blood carrier* yang mempunyai kecepatan dan kinerja pendinginan yang sangat tinggi dengan menerapkan sistem pendinginan bertingkat, selain itu juga untuk mengetahui potensi dari sistem pendinginan bertingkat. Sehingga diharapkan sistem pendinginan ini dapat digunakan untuk media pendinginan lainnya yang membutuhkan suhu yang sangat rendah.

Dari hasil pengujian, *blood carrier* mampu menurunkan suhu *cabin* dibawah 0°C dalam waktu kurang dari 60 menit dengan berbagai volume beban.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu untuk memudahkan para peneliti yang ingin menerapkan teknik pendinginan bertingkat untuk sistem pendingin lainnya.

### **Kata kunci :**

Gizi, *Blood carrier*, Peltier, Termoelektrik, *Heat Pipe*, Pendinginan bertingkat

## ABSTRACT

Name : Ferdiansyah Nurudin Iskandar  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : APPLICATION OF MULTI STAGE COOLING  
SYSTEM FOR BLOOD STORAGE BASED ON  
THERMOELECTRIC AND HEAT PIPE

The insufficient nutrient is a chronic epidemic and commonplace spreads mostly at the suburb area and rural. Recently, it emerges because of the unmonitored nutrient's growth for the society living in these areas.

Taking the blood sample is a common method to observe this epidemic, especially anemia. These samples are taken from the societies living at cities, suburbs, and rural areas. It's very difficult to taking a blood sample from remote place such as Indonesia that have hot weather and tropical climate, a good blood carrier that not depend on ambient temperature is needed.

The common blood storage have laxity to maintain cabin temperatur between 4-6 °C, and the cooling velocity is very poor also when used for the maximum capacity, so it can bring a problem to the blood sample when ambient temperature rising very high suddenly

The objective of this research is to develop a blood carrier that have high speed cooling performance by applying multi stage cooling system and also to know the potential of multi stage cooling system in the hope this system can be use for other low temperature cooling device.

The result of the research is the blood carrier that has been designed can push the cabin temperatur below 0 °C for less than 60 minute with variety load.

May the result of this research could facilitate researchers for the development of multi stage cooling system for other purpose

**Key Word :**

Nutrient, Blood carrier, Peltier, Thermoelectric, Heat Pipe, Multi Stage Cooling

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Gizi buruk merupakan kejadian kronis dan bukan kejadian yang tiba-tiba. Sementara itu di Indonesia kasus gizi buruk pada anak balita semakin meningkat seperti yang diberitakan media massa akhir-akhir ini, khususnya di daerah-daerah yang sangat terpencil, karena anak balita merupakan sumber daya manusia masa depan bangsa ini. Berdasarkan angka *Human Development Index* (HDI), Indonesia menduduki peringkat ke 112 di dunia, dan ada kemungkinan dengan kasus-kasus gizi buruk peringkat ini akan bergeser ke posisi lebih buruk lagi apabila pemerintah tidak cepat tanggap menindaklanjuti permasalahan ini [1].

Munculnya kasus gizi buruk yang mencuat akhir-akhir ini adalah lemahnya akan pemantauan status gizi di suatu daerah, sehingga Pemerintah dalam hal ini departemen kesehatan terkesan tidak memiliki program peningkatan gizi balita. Masalah gizi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain oleh penyakit infeksi dan tidak cukupnya asupan gizi secara kuantitas maupun kualitas, jangkauan dan kualitas pelayanan kesehatan, kondisi sanitasi lingkungan dan rendahnya ketahanan pangan di tingkat rumah tangga [2].

Kekurangan gizi biasanya terjadi secara tersembunyi dan sering luput dari pengamatan biasa. Tidaklah mudah untuk mengetahui seseorang yang menderita kekurangan zat gizi besi (anemia) atau anak usia sekolah tidak mampu mengikuti pelajaran di sekolah karena kekurangan gizi tertentu seperti iodium atau zat besi. Sebagian besar penduduk Indonesia atau sekitar 50 % dapat dikatakan tidak sakit akan tetapi juga tidak sehat dan kondisi ini tergolong kekurangan gizi. Kondisi ini akan berdampak terhadap tingginya kematian anak dan ibu serta menurunnya produktivitas kerja. Hal ini secara langsung menurunkan tingkat kesejahteraan



masyarakat. Permasalahan gizi utama yaitu : kurang energi protein, kurang vitamin A, anemia gizi besi dan gangguan akibat kurang yodium [2].

Untuk mengetahui kekurangan gizi khususnya pada anemia gizi besi biasanya dipantau dengan pengambilan sampel darah di suatu daerah, baik di perkotaan, pedesaan maupun di daerah terpencil. Pengambilan sampel darah di lapangan tidak terlepas dari media penyimpanan yang biasanya memakai *ice box* dengan menggunakan *iced pack* sebagai media pendinginannya. Penyimpanan sampel darah ini penting artinya untuk menghindari kerusakan sampel darah yang diperoleh dan keakurasian pengukuran parameter yang dibutuhkan di Laboratorium. Kelemahan media penyimpanan *ice box* tersebut adalah ketergantungan pada *iced pack* yang sebelumnya harus didinginkan dalam pendingin/kulkas, daya tahan pendinginan yang tidak terukur dengan pasti, serta terbatasnya kapasitas *iced pack* untuk menjaga temperatur optimum sampel darah pada 4-6°C.

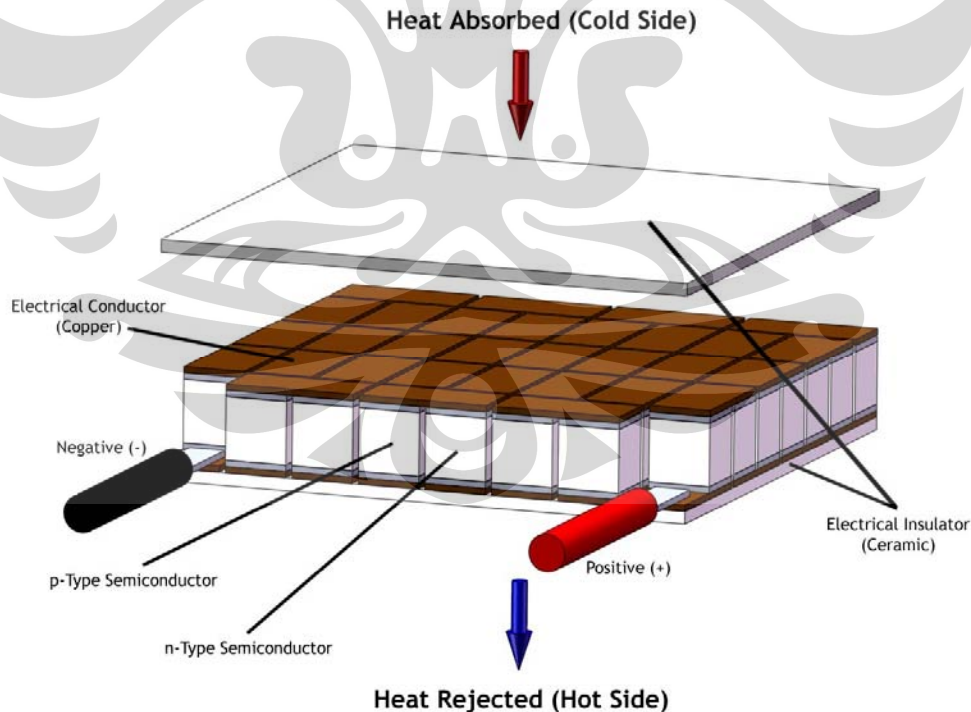
Hal tersebut membuat *ice box* konvensional yang pada dasarnya tidak dirancang untuk penyimpanan sampel darah menjadi tidak maksimal terutama dalam pengambilan sampel darah pada daerah pedalaman/pedesaan yang membutuhkan perjalanan yang panjang dan sulit dijangkau. Tidak mengherankan WHO menyatakan bahwa *blood carrier* yang digunakan pada daerah berkembang, yang pada dasarnya tidak dirancang untuk penyimpanan sampel darah, tidaklah memenuhi syarat. Hal ini dikarenakan tidak adanya *monitoring temperature*, *audiovisual alarm* dan standar penyimpanan lainnya. Kelemahan *blood carriers* konvensional dirasakan terutama dalam pengambilan sampel darah pada daerah pedalaman/pedesaan yang membutuhkan perjalanan yang panjang dan sulit dijangkau [3].

Untuk memperkecil kesalahan dalam penanganan sampel darah dan menghindari dari kerusakan sampel darah, maka dibutuhkan sebuah prosedur pendistribusian sampel darah yang disebut dengan *Cold Chain* (rantai dingin). Maka perlu dikembangkan suatu alat penyimpan darah (*Blood carrier*) yang mudah dalam transportasi, hemat energi dan memenuhi standar penyimpanan sampel darah yang diambil untuk mendukung data *monitoring* salah satu kondisi

gizi pada suatu daerah sehingga bisa secepat mungkin Pemerintah mengambil langkah-langkah untuk memperbaiki kondisi gizi daerah tersebut.

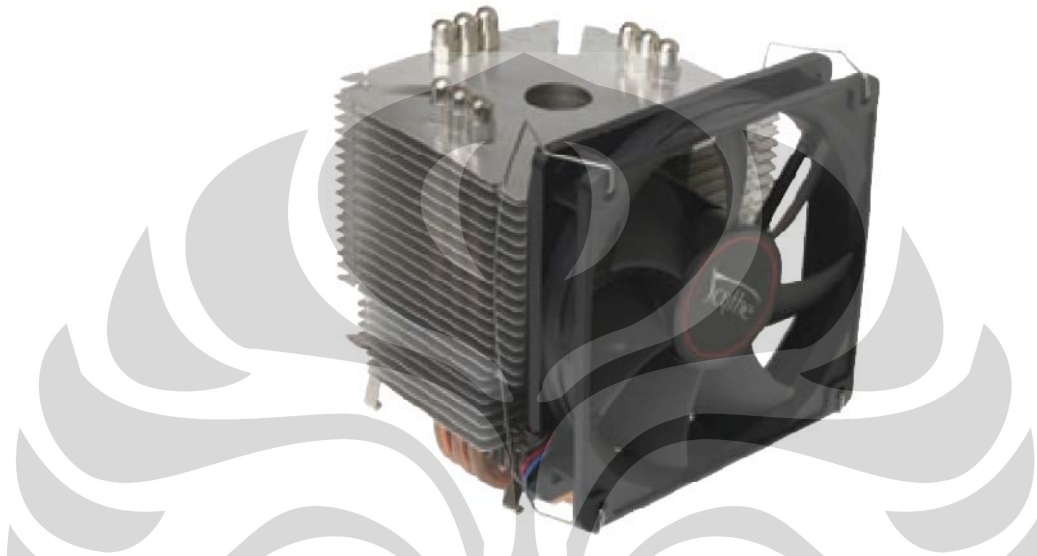
Sekarang ini teknologi pendinginan telah berkembang dengan digunakannya *thermoelctric* Peltier elemen sebagai pompa kalor. Tidak seperti sistem refrigerasi konvensional yang menggunakan refrigeran untuk memindahkan kalor seperti pada *vapour-compression* sistem maupun *absorption* sistem, *thermoelctric* Peltier menggunakan energi listrik secara langsung untuk memompa kalor. Selain itu elemen peltier tidak menimbulkan masalah pengrusakan lingkungan, baik itu penipisan lapisan ozon maupun *Global Warming Potential* [5].

Elemen peltier menggunakan prinsip kerja efek peltier yang menggunakan bahan semikonduktor tipe “N” dan tipe “P” *Bismuth Telluride*. Tersusun atas sejumlah pasangan semikonduktor tersebut, yang secara kelistrikan dihubungkan seri dan secara termal dihubungkan paralel, Modul ini disusun di antara dua pelat keramik dengan tujuan mengisolasi listrik dan menghantarkan panas secara optimal [6] (Gambar 1.1).



**Gambar 1.1** Skema bagian dari elemen peltier

Sistem pendingin elektronik semakin berkembang dengan diperkenalkannya teknologi heat pipe sebagai pendingin *central processing unit* (CPU). Dengan bentuk yang ringkas, penyerapan kalor yang tinggi dan bebas pemeliharaan menjadikan kombinasi *heatsink-heatpipe* sebagai solusi yang sangat tepat untuk mendinginkan sisi panas dari peltier.



**Gambar 1.2** Heatsink dengan teknologi heatpipe

(Sumber : Majalah CHIP edisi 8, 2006)

Penerapan efek peltier dan heat pipe dalam berbagai aplikasi sistem pendingin merupakan suatu penemuan teknologi yang fenomenal dan ramah lingkungan, selain itu elemen peltier juga mampu beroperasi dengan perbedaan sisi dingin dan panas dengan pencapaian temperatur lebih dari  $-20^{\circ}\text{C}$  pada sisi dinginnya. Selain itu bentuknya kecil dan tidak memerlukan sistem instalasi yang rumit menjadikan elemen peltier sebagai salah satu pilihan yang tepat untuk digunakan dalam menjaga temperatur suatu ruang untuk sampel darah pada temperatur optimal  $4-6^{\circ}\text{C}$ .

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Keberhasilan pengembangan *blood carrier* untuk memenuhi rentang temperatur optimun 4-6°C yang dilakukan di laboratorium *heat transfer* departemen teknik mesin UI dengan penggunaan peltier ganda (*Double Peltier*) dan *vakum system* mampu mendinginkan cabin di bawah temperatur 6°C dalam waktu 320 menit merupakan acuan untuk mengembangkan *blood carrier* selanjutnya [4].

Penelitian yang dilakukan saat ini adalah pengembangan *blood carrier* dengan sistem pendinginan bertingkat yang dikhususkan untuk mempercepat proses pendinginan sampel darah. Dimana *blood carrier* yang sebelumnya dikembangkan memakan waktu yang cukup lama.

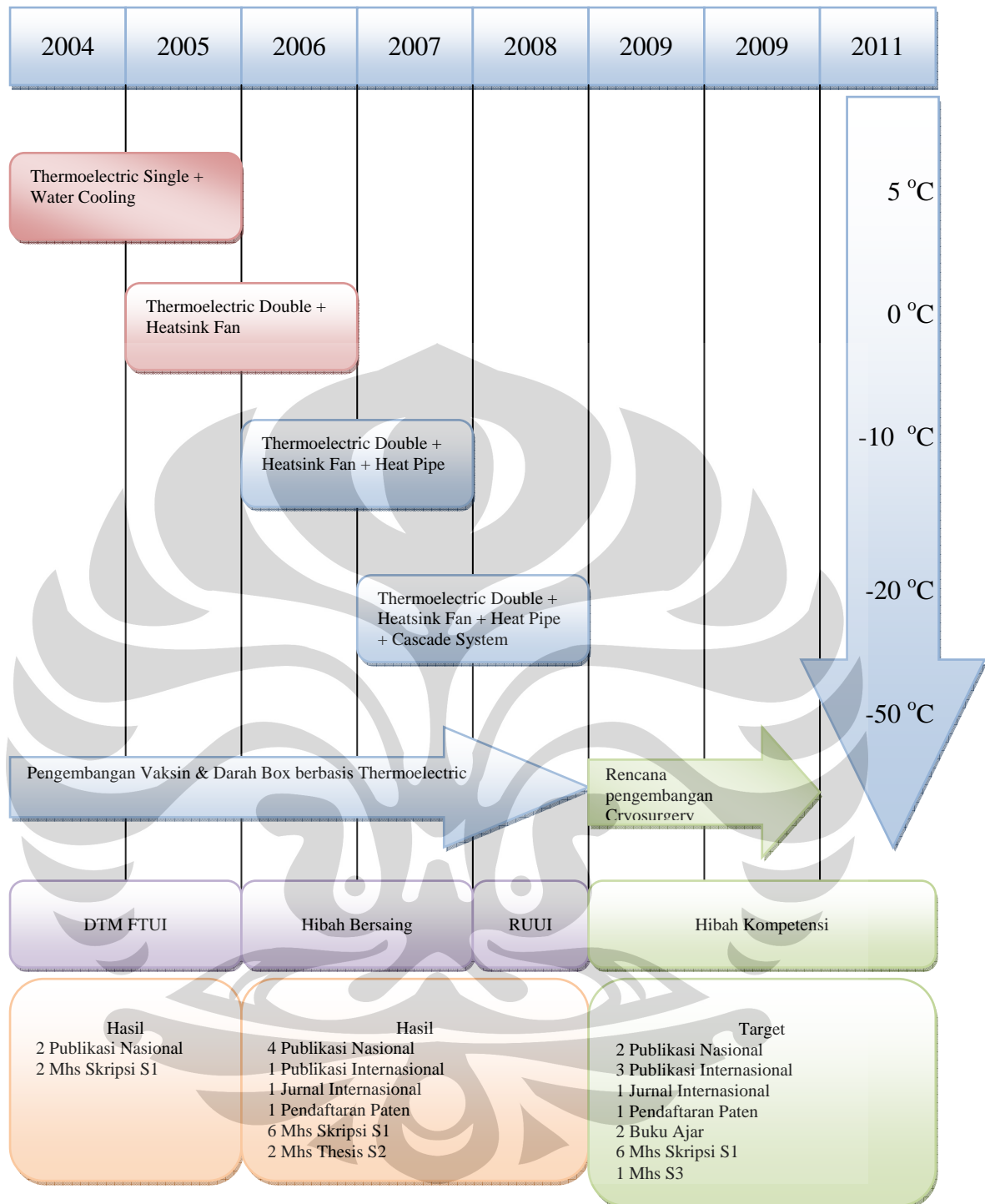
Tujuan digunakannya sistem pendinginan bertingkat adalah untuk menghasilkan suhu ruangan yang lebih rendah bagi *heatsink-heatpipe* yang berfungsi untuk mendinginkan sisi panas peltier sehingga suhu pada sisi panas peltier dapat ditekan lebih rendah lagi.

Temperatur dan kapasitas *blood carrier* tetap dipertahankan yaitu 4-6°C dan kapasitas 50 tube @ 3ml dengan menitik beratkan pada kecepatan pendinginan.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengembangkan alat *blood carrier* yang mempunyai kecepatan dan kinerja pendinginan yang sangat tinggi dengan menerapkan sistem pendinginan bertingkat, selain itu juga untuk mengetahui potensi dari sistem pendinginan bertingkat. Sehingga diharapkan sistem pendinginan ini dapat digunakan untuk media pendinginan lainnya yang membutuhkan suhu yang sangat rendah.

Penelitian ini juga merupakan salah satu pengembangan untuk mengetahui lebih jauh potensi peltier sebagai sistem pendingin termoelektrik yang menjadi salah satu cabang penelitian yang dilakukan di Laboratorium Perpindahan Kalor Fakultas Teknik Universitas Indonesia, seperti yang ditunjukkan pada *roadmap research* berikut ini :



**Gambar 1.3** Roadmap Research

(Sumber : Proposal Hibah Kompetensi, Dr.-ing. Nandy Putra, 2008)

## 1.4 PEMBATASAN MASALAH

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi

1. Merancang dan membangun alat *blood carrier* dengan menggunakan elemen *double peltier*, sistem termoelektrik bertingkat, sebagai pompa kalor dan *heatsink-heatpipe* sebagai pendingin sisi panas peltier.
2. Menguji kinerja pendinginan baik dengan sistem pendinginan konvensional maupun bertingkat
3. Tidak dilakukan perhitungan terhadap performa dari *Heatsink-Heatpipe*.

## 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur  
Studi literatur merupakan proses pembelajaran bahan-bahan yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal dan situs-situs internet.
2. Perancangan *Blood carrier*  
Perancangan alat *Blood carrier* dilakukan dengan pertimbangan seperti sifat material, kemudahan dalam mencari komponen-komponen yang dibutuhkan dipasaran, kelayakan dalam proses produksi, serta pertimbangan dalam aspek *portable* dan *ergonomic* alat.
3. Pembuatan Prototipe  
Pembuatan prototipe dibuat dengan tujuan untuk mengetahui kinerja *blood carrier* yang telah dirancang.
4. Pengujian *Blood carrier*  
Unjuk kerja alat dilakukan melalui proses kalibrasi termokopel, pengambilan data temperatur pada alat baik melalui sistem pendinginan konvensional maupun bertingkat serta pengolahan data pengujian.
5. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian  
Setelah data diolah maka dilakukan proses analisa terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian, mengetahui unjuk kerja dari alat *Blood carrier* yang

menggunakan sistem pendinginan konvensional maupun bertingkat dan memberikan saran terhadap pengembangan desain *Blood carrier* selanjutnya.

## **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab-bab sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bagian ini berisi latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendasari penelitian ini dan perkembangan teknologi termoelektrik yang kemungkinan bisa diterapkan untuk *blood carrier*. Tinjauan pustaka ini diambil dari beberapa buku, jurnal dan situs-situs internet.

### **BAB III PROSES PERANCANGAN DAN PEMBUATAN**

Bab ini berisi penjelasan secara lengkap tentang konsep desain alat dan proses pembuatan *blood carrier*.

### **BAB IV PENGUJIAN *BLOOD CARRIER***

Bab ini menerangkan tentang bagaimana instalasi pengujian dilakukan, komponen yang digunakan dalam pengujian, prosedur dan metode pengujian untuk mengetahui karakterisasi alat.

### **BAB V HASIL DAN ANALISA**

Bab ini memuat data-data hasil pengujian yang diolah menjadi data berupa grafik dan penjelasan mengenai analisa terhadap kinerja alat.

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bagian ini akan diambil beberapa kesimpulan dari seluruh analisa yang telah dilakukan dengan disertai saran terhadap pengembangan desain selanjutnya.





## **BAB II**

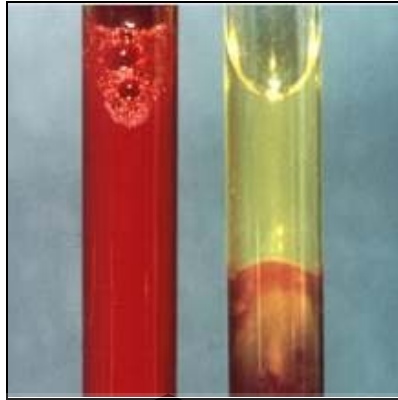
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 DARAH**

Darah adalah fluida yang kompleks yang mempunyai fungsi sebagai media transportasi dalam tubuh, antara lain media transportasi pada oksigen, karbondioksida, molekul makanan (glukosa, lipid, asam amino), ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), nutrisi, hormon, enzim, antibodi, dan pembuangan produk dari metabolisme (urea) serta obat. Selain sebagai media transportasi, darah juga berfungsi untuk menjaga ketahanan tubuh dari infeksi, memelihara tidak terjadinya hidrasi pada jaringan, dan menjaga temperatur tubuh [7].

##### **2.1.1 Komposisi Darah**

Umumnya pada orang yang sehat 45% dari volume darah terdiri dari sel, sebagian besar adalah sel darah merah, dan 55% adalah plasma yaitu berupa cairan bening berwarna kuning, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Sebanyak 95% dari plasma terdiri dari air, juga terkandung beberapa nutrisi seperti glukosa, lemak, protein dan asam amino yang berfungsi sebagai sintesis protein, vitamin, dan mineral [8].



**Gambar 2.1** Tube berisi darah yang dipisahkan antara plasma dan selnya dengan alat putar sentrifugal  
(Sumber : Encarta Reference Library DVD, 2005)

### 2.1.2 Rantai Dingin Darah (*cold chain*)

Rantai dingin darah adalah suatu prosedur yang sistematis yang meliputi distribusi, penyimpanan darah yang aman mulai dari darah/sampel darah tersebut diambil sampai dengan tujuan akhir darah tersebut dibawa/disimpan, dan didukung dengan adanya pemeliharaan peralatan yang baik [3].

Dikatakan rantai dingin karena darah merupakan zat biologis yang harus disimpan dalam suhu tertentu dengan tujuan untuk memperpanjang umur dari darah dan mencegah adanya kontaminasi akibat bakteri yang dapat merusak kualitas darah yang diambil [9].

Hal yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan sampel darah pada saat penyimpanan tahap awal darah diambil antara lain [7] :

- Sampel darah segar (*whole blood*) yang telah diambil, disimpan dalam tube yang telah mengandung anti koagulasi yang sesuai, biasanya antikoagulasi EDTA (*ethylenediaminetetraacetic acid*), dengan volume sampel darah minimal 2 ml untuk tujuan laboratorium.
- Selama transportasi, temperatur darah yang diijinkan adalah 2-10 °C dengan lama transportasi maksimal 12 jam. Untuk temperatur optimal darah dijaga dalam temperatur 4 °C atau berkisar 2-8 °C.

Hal tersebut sesuai dengan persyaratan minimal WHO yang menyatakan bahwa *blood transport boxes* untuk kategori *short cold life* yang memenuhi syarat harus mempunyai kemampuan pendinginan dibawah 10°C dengan ketahanan 30

jam pada suhu ruangan 43 °C, berat maksimum yang diizinkan adalah 6 kg dengan kapasitas 4 liter.

## 2.2 PENDINGIN TERMoeLEKTRIK

Pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) adalah alat pendingin yang menggunakan elemen peltier dalam sistemnya sebagai pompa kalor. Efek peltier timbul apabila dua buah logam yang berbeda disambungkan dan kedua ujung logam tersebut dijaga pada temperatur yang berbeda, selain itu akan ada fenomena lain yang akan terjadi yaitu fenomena efek joule, efek fourier, efek seebeck, efek peltier dan efek thomson [10].

### 2.2.1 Sejarah Peltier

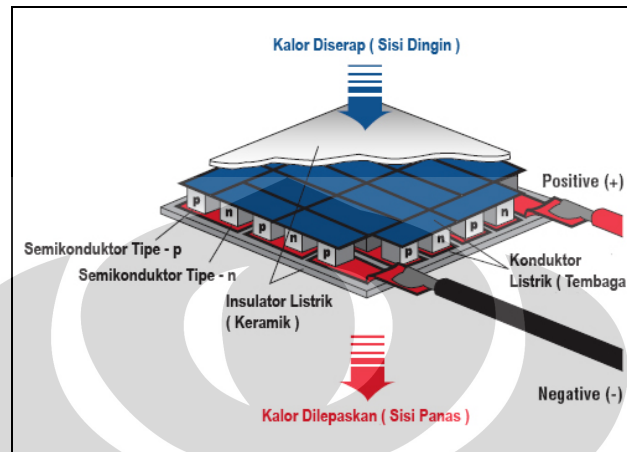
Efek peltier pertama kali ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834 dengan memberikan tegangan pada dua sambungan logam yang berbeda, yang ternyata menghasilkan perbedaan temperatur. Sedangkan termoelektrik sebagai sebuah sistem pertama kali diteliti pada tahun 1950. Teknologi ini digunakan pada sistim pengkondisian ruangan (AC) dan sistem pendingin.

Penggunaan peltier semakin berkembang bersamaan dengan perkembangan teknologi material semikonduktor menghasilkan alat yang dinamakan pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*). Teknologi ini berkembang dengan pesat baik pada bidang aplikasi pendinginan maupun pemanasan [11].

### 2.2.2 Prinsip Kerja Pendingin Termoelektrik

Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek peltier, ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe n (semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi), akan

mengakibatkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan), seperti pada gambar 2.2, sisi elemen peltier yang menjadi sisi panas maupun dingin tergantung dari arah aliran arus listrik.



**Gambar 2.2** Skema aliran peltier

(Sumber : Melcore Website)

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalirnya elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-p, ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-n. Agar elektron tipe p yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin. Sedangkan pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sambungan sisi panas, dimana elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor tipe-n) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe-p), untuk dapat mengalir ke semikonduktor tipe p, kelebihan energi pada tipe n dibuang ke lingkungan sisi tersebut menjadi panas.

Penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari modul peltier. Sehingga nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan ke modul, sesuai dengan persamaan :

$$Q_h = Q_c + P_{in} \dots\dots\dots (1)$$

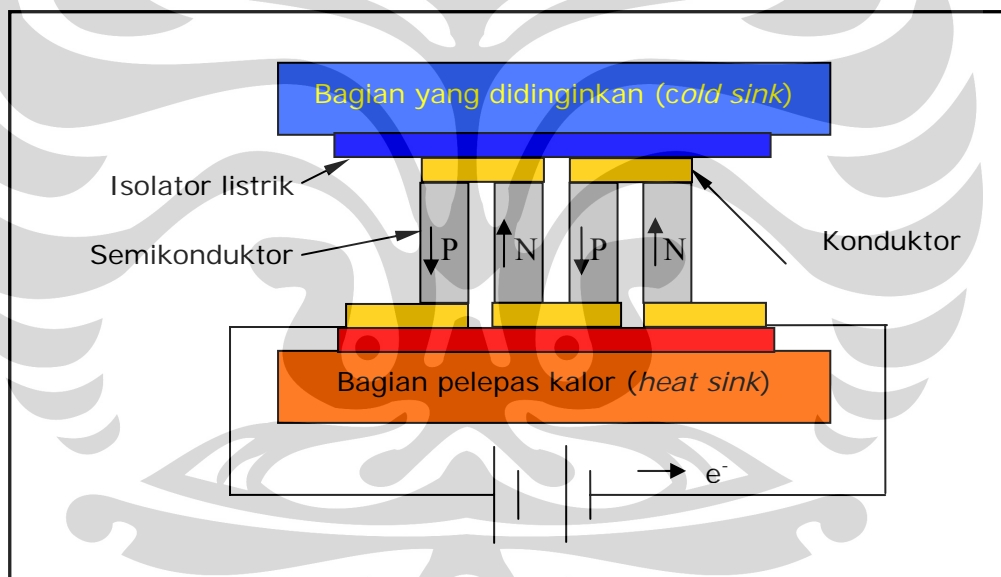
Dimana :

$Q_h$  = kalor yang dilepaskan pada bagian *hot side* elemen Peltier (Watt)

$Q_c$  = kalor yang diserap pada bagian *cold side* elemen Peltier (Watt)

$P_{in}$  = daya input (Watt)

Pada gambar 2.3, Elektron mengalir dari semikonduktor pada tipe p yang kekurangan energi, menyerap kalor pada bagian yang didinginkan kemudian mengalir ke semikonduktor tipe n. Semikonduktor tipe n yang kelebihan energi membuang energi tersebut ke lingkungan dan mengalir ke semikonduktor tipe p dan seterusnya.



Gambar 2.3 Arah aliran elektron pada modul termoelektrik

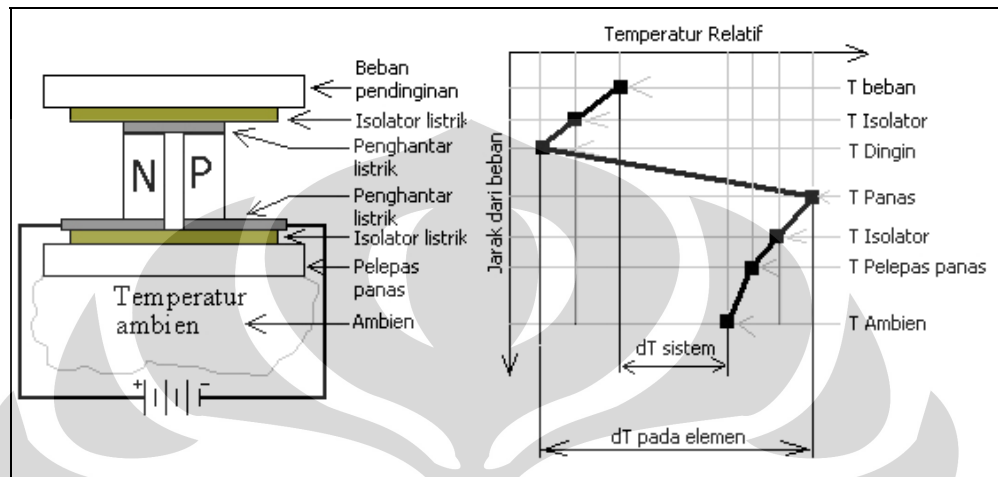
### 2.2.3 Parameter Penggunaan Elemen Termoelektrik

Didalam penggunaan elemen termoelektrik terdapat tiga parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu:

- Temperatur Permukaan Sisi Panas Peltier/hot side ( $T_h$ )
- Temperatur Permukaan Sisi Dingin Peltier/Cold Side ( $T_c$ )
- Beban kalor yang dapat ditransfer dari kompartemen dingin ( $Q_c$ )

Terdapat dua faktor penting yang mempengaruhi nilai temperatur sisi panas modul, yaitu:

- Temperatur ambien lingkungan
- Efisiensi *Heat sink* yang digunakan pada sisi panas modul.

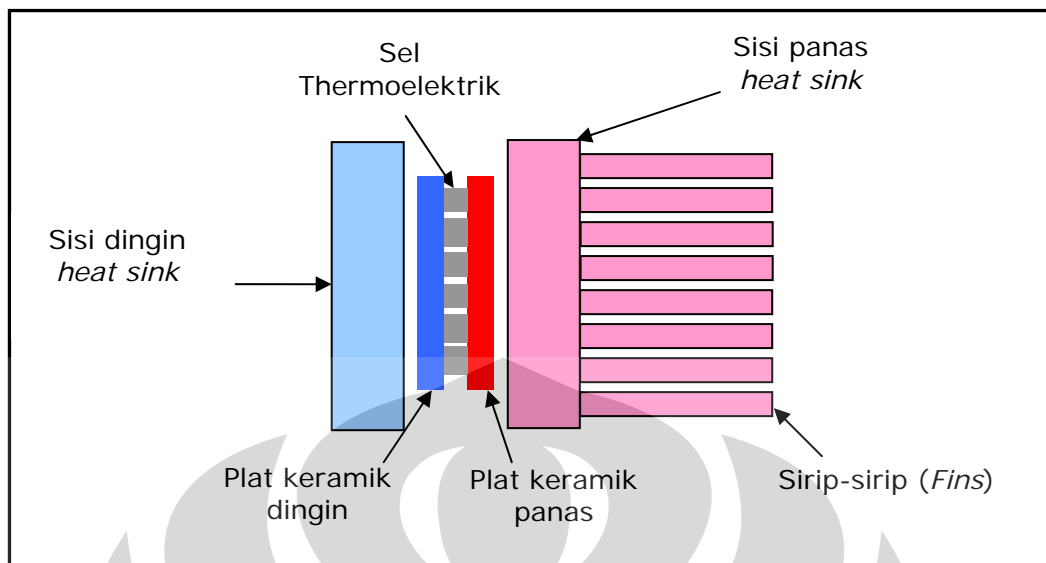


**Gambar 2.4** Profil temperatur modul TEC  
(Sumber : Melcore Website)

Pada gambar 2.4 tentang profil temperatur sistem termoelektrik. Ada 2  $\Delta T$  temperatur yaitu.  $\Delta T$  sistem dan elemen.  $\Delta T$  sistem adalah perbedaan temperatur antara beban pendinginan dan lingkungan, sedangkan  $\Delta T$  elemen adalah perbedaan temperatur antara sisi dingin elemen peltier dan sisi panas elemen peltier. Secara umum pencapaian  $\Delta T$  ( $T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}}$ ) dari modul termoelektrik selalu mendekati konstan. Jika  $T_{\text{panas}}$  semakin rendah maka  $T_{\text{dingin}}$  semakin dingin, bila  $T_{\text{panas}}$  semakin tinggi maka  $T_{\text{dingin}}$  tidak terlalu dingin

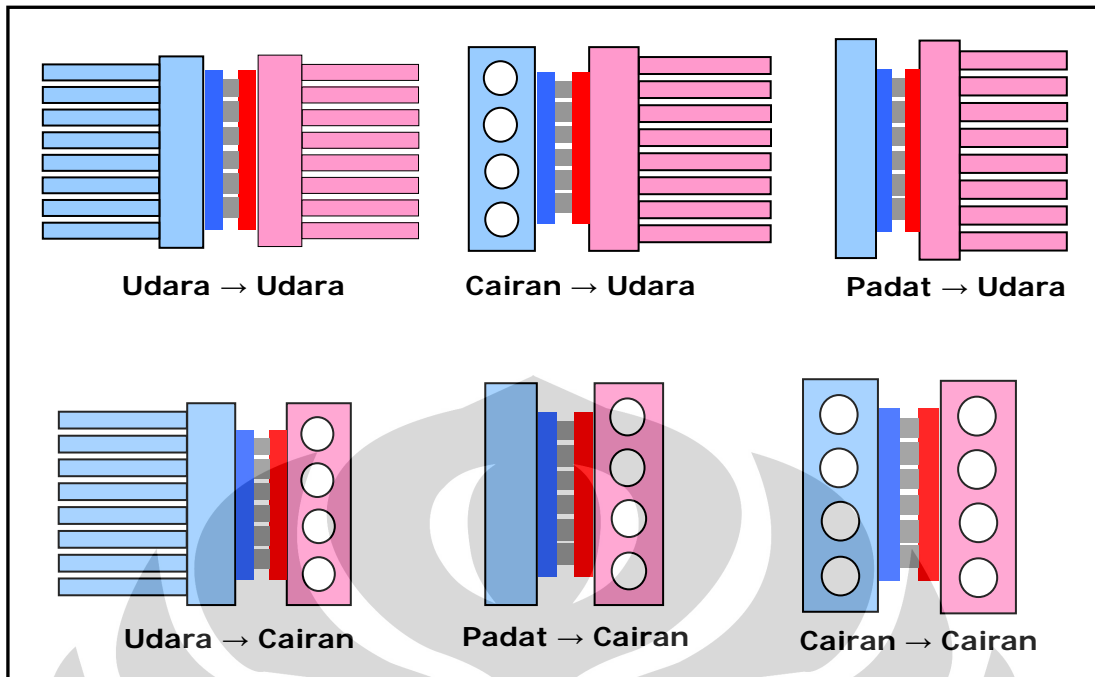
#### 2.2.4 Komponen dasar sistem Pendingin Termoelektrik

Pendingin termoelektrik memerlukan *heat sink* yang berfungsi untuk menyerap kalor pada sisi dingin elemen peltier maupun membuang kalor pada sisi panas peltier. Susunan dasar pendingin termoelektrik setidaknya terdiri dari elemen peltier dan *heat sink* baik pada sisi dingin elemen peltier maupun sisi panas [12], seperti pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Susunan dasar sistem pendingin termoelektrik.  
(Sumber : Jurnal *blood carrier*, 2007)

Bagian yang didinginkan dapat langsung dihubungkan dengan sisi dingin elemen peltier maupun dihubungkan terlebih dahulu dengan alat penukar kalor sebelum dihubungkan dengan sisi dingin elemen peltier. Alat penukar kalor tersebut dapat berupa fluida atau dengan konveksi udara. Kalor yang dihasilkan pada sisi panas elemen peltier disalurkan ke lingkungan melalui udara baik secara konveksi paksa maupun alami atau dengan media pendingin air maupun cairan lainnya. Pada gambar 2.6, menggambarkan beberapa susunan pendingin termoelektrik dengan berbagai cara perpindahan kalor baik dari media udara, cairan dan padat [12].



**Gambar 2.6** Beberapa susunan sistem termoelektrik  
(Sumber : Jurnal *blood carrier*, 2007)

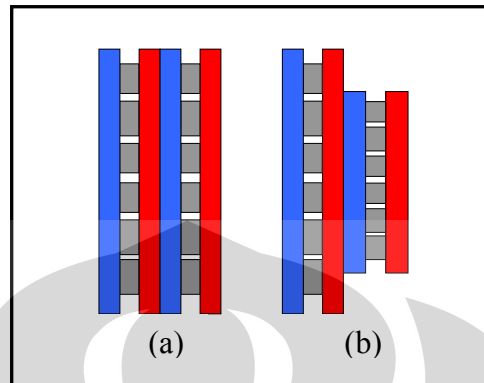
Kelebihan Pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) antara lain ketahanan alat yang baik, tidak menimbulkan suara, tidak adanya bagian mekanikal yang bergerak sehingga tidak menimbulkan getaran, perawatan yang mudah, ukuran yang kecil, ringan, ramah terhadap lingkungan karena tidak menggunakan refrigeran yang dapat merusak ozon, termoelektrik dapat juga digunakan pada lingkungan yang sensitif, tidak adanya ketergantungan terhadap posisi peletakan, ketelitian kontrol temperatur  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  dapat dicapai dengan menggunakan termoelektrik, dan cocok digunakan pada aplikasi kotak pendingin dibawah 25 Watt [13]. Sedangkan kelemahan thermoelektrik adalah efisiensi yang rendah dan adanya kondensasi pada suhu tertentu. Sehingga sampai saat ini pendingin termoelektrik hanya efektif pada aplikasi untuk objek pendinginan dan daya yang kecil [11].

### 2.2.5 Sistem Termoelektrik Bertingkat

Sistem bertingkat pada modul termoelektrik digunakan hanya jika modul tunggal tidak bisa mencapai perbedaan temperatur yang diinginkan. Penambahan



modul akan mengakibatkan daya yang dibutuhkan semakin besar [14]. Terlihat pada gambar 2.7 pemasangan elemen peltier secara bertingkat dengan tipe paralel dan *cascade* [15].



**Gambar 2.7** Modul sistem bertingkat (a) Peltier paralel (b) Peltier *cascade*.

Kemampuan memompa panas dari beban pada sistem bertingkat dapat ditingkatkan tergantung pada jumlah tingkat modul. Semakin banyak tingkat maka semakin besar selisih antara  $T_h$  dengan  $T_c$ . Karena selisih  $T_h$  dan  $T_c$  yang semakin besar, maka kalor yang dapat dipindahkan dari beban juga semakin besar.

### 2.2.6 Aplikasi Termoelektrik Secara Garis Besar

Aplikasi termoelektrik telah digunakan diberbagai bidang, tidak hanya sebagai pendingin tetapi juga sebagai pembangkit daya, sensor energi termal maupun digunakan pada bidang militer, ruang angkasa, instrument, biologi, medikal, dan industri serta produk komersial lainnya [13].

Aplikasi termoelektrik sebagai alat pendingin terdiri dari aplikasi untuk mendinginkan peralatan elektronik, *air conditioner* maupun lemari pendingin. Penggunaan termoelektrik juga diaplikasikan pada tutup kepala sebagai pendingin kepala. Pada dunia otomotif juga telah dikembangkan termoelektrik intercooler [13].

Aplikasi termoelektrik sebagai pembangkit daya dibagi menjadi 2 bagian sebagai pembangkit daya rendah dan pembangkit daya tinggi. Aplikasi

pembangkit daya rendah meliputi pemanfaatan panas tubuh manusia untuk menjalankan jam tangan, sedangkan pembangkit daya tinggi pada termoelektrik memanfaatkan panas dari sisa panas buang yang dihasilkan dari industri maupun pemanfaatan sisa panas dari pembakaran bahan bakar [13].

## **2.3 HEAT PIPE**

Heat Pipe adalah sebuah alat yang memiliki nilai konduktivitas termal tinggi, yang digunakan sebagai pemindah kalor dimana kuantitas kalor yang dipindahkan relatif besar dengan hanya nilai perbedaan temperatur yang kecil antara permukaan panas dan dingin. Heat Pipe dapat digunakan pada situasi dimana sumber panas dan pelepas panas diharuskan terpisah, untuk membantu konduksi atau menyebarkan panas pada bidang. Tidak seperti pendingin termoelektrik, heat pipe tidak mengkonsumsi energi ataupun menghasilkan panas sendiri.

### **2.4.1 Sejarah Heat Pipe**

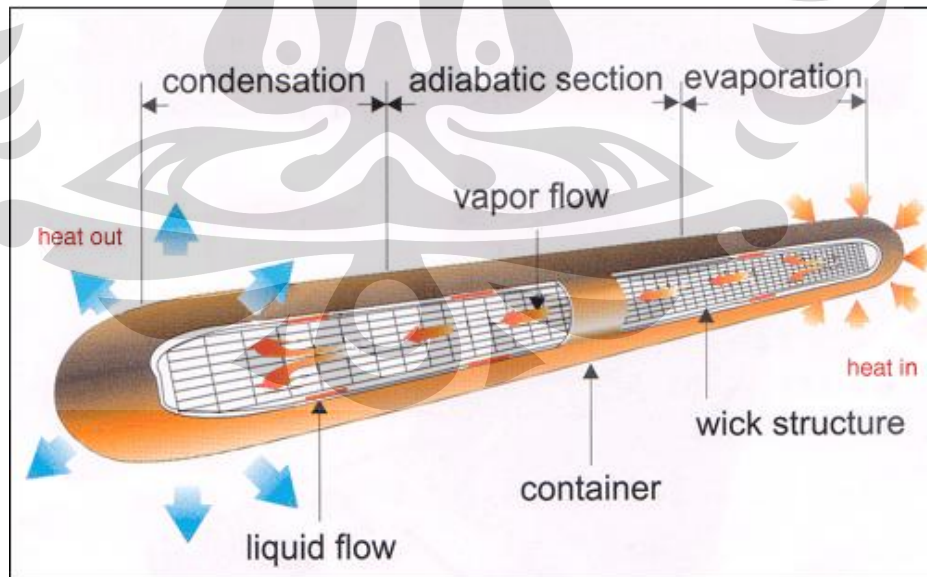
Perkembangan heat pipe dimulai oleh Angier March Perkins yang mengawali konsep tentang fluida kerja dengan satu fase (hermetic tube boiler - memperoleh paten pada tahun 1839). Jacob Perkins (salah satu keturunan dari Angier March) mematenkan alat yang dinamakan Perkins Tube tahun 1936 dan berkembang luas penggunaannya pada boiler lokomotif dan baking oven. Perkins Tube adalah sebuah sistem yang memiliki pipa panjang melingkar yang melewati evaporator dan kondenser, sehingga air yang berada di dalam tube beroperasi pada dua fasa. Disain awal ini mengandalkan gravitasi untuk mengembalikan air ke evaporator (sekarang disebut Thermosypon) [16].

Perkins Tube merupakan lompatan penting bagi perkembangan heat pipe dewasa ini. Konsep dari moderen heat pipe adalah penggunaan wick structure untuk memindahkan fluida kerja ke bagian kondenser dengan melawan efek dari gravitasi. Konsep ini diletakan oleh R.S. Gaugler dari General Motors Corporation, dia melukiskan bahwa heat pipe dapat diaplikasikan dalam sistem

refrigerasi karena memang prinsip kerja dari fluida kerja pada sebuah heat pipe sama dengan yang terdapat pada sistem refrigerasi secara umum. Dan setelah itu penelitian tentang heat pipe pun menjadi populer.

#### 2.4.2 Prinsip Kerja Heat Pipe

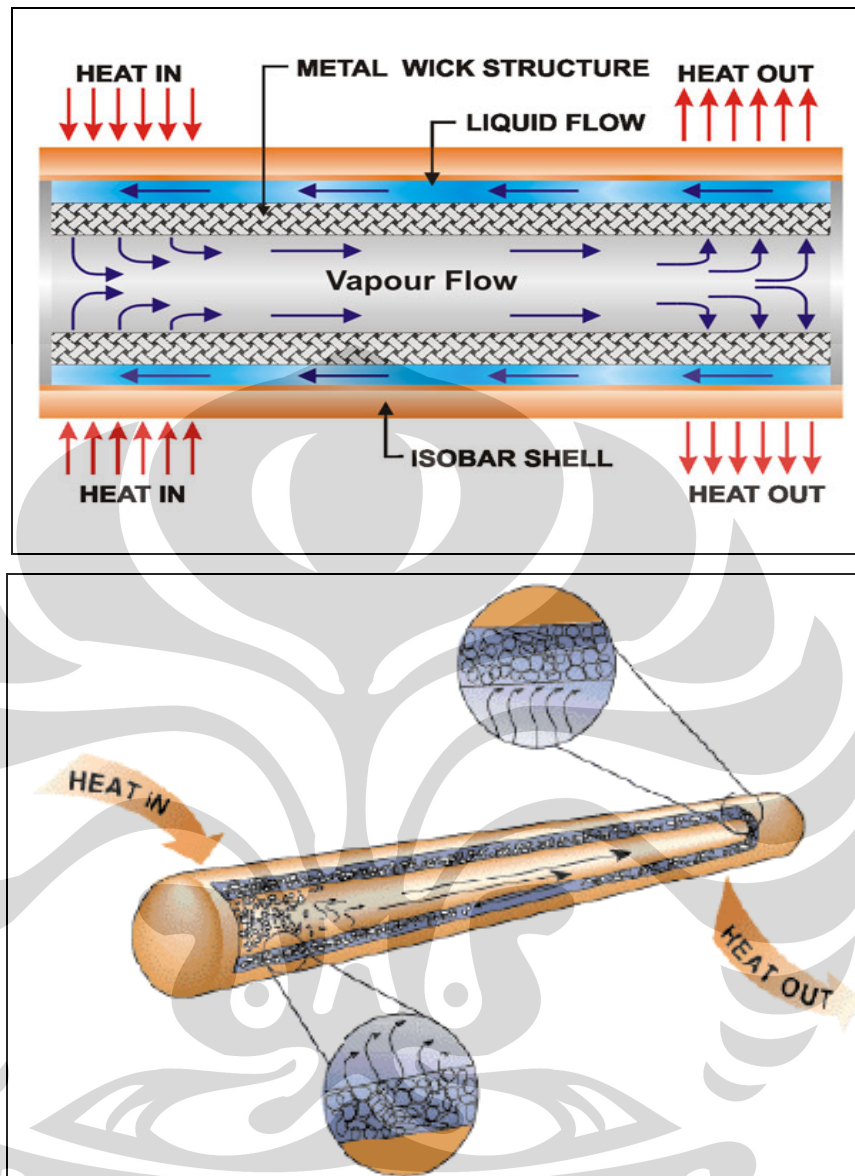
Prinsip kerja dari heat pipe mirip dengan sistem refrigerasi, yaitu dengan metode evaporasi-kondensasi yang terjadi pada fluida kerja. Sebuah tabung dari logam yang didalamnya terdapat fluida kerja dan membentuk suatu sistem tertutup. Dimana bagian ujung yang satu dari tabung tersebut dipanaskan dan satunya lagi didinginkan. Sumber panas yang diserap oleh bagian evaporator menyebabkan fluida kerja mendidih dan berubah fasa menjadi uap, hal ini juga menciptakan perbedaan tekanan yang mengakibatkan uap mengalir menuju pendingin di ujung lainnya (kondenser). Pada bagian ini fluida kerja kembali berubah fasa menjadi cair dengan melepas energi berupa kalor dan kemudian kembali lagi ke bagian panas (evaporator) dengan memanfaatkan gravitasi. Proses ini terjadi berulang-ulang. Seperti yang terlihat pada gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Prinsip Kerja Heat Pipe

(Sumber : Thermacore Website)

### 2.4.3 Struktur Heat Pipe



**Gambar 2.9** Struktur *heat pipe*

(Sumber : Thermacore Website)

Heat Pipe memiliki tiga komponen dasar, yaitu ;

1. Container (tabung)

Container biasanya berbentuk tabung tertutup yang dapat mengisolasi fluida kerja dari lingkungan luar dan dapat mempertahankan perbedaan tekanan terhadap tekanan lingkungan, dan memiliki konduktivitas termal yang baik untuk memindahkan dan menyerap kalor

dari dan ke fluida kerja. Sehingga bagian ini biasanya terbuat dari tembaga, aluminum, ataupun stainless steel.

## 2. Wick struktur (kapilaritas)

Pada bagian dalam dari dinding casing terdapat komponen dengan struktur berongga. Bagian ini yang disebut struktur kapileritas atau wick. Tujuan utama dari bagian ini adalah seperti pompa pada untuk mengalirkan fluida kerja yang telah terkondensasi di bagian kondenser agar dapat kembali lagi ke evaporator untuk menyerap kalor dari sumber panas. Bagian ini berkerja berdasarkan tekanan kapileritas dari fluida kerja sehingga tidak memerlukan daya untuk mengalirkan fluida kerja.

## 3. Fluida kerja

Komponen terakhir adalah fluida kerja yang membawa kalor dari sumber panas untuk kemudian dilepas ke lingkungan. Kebanyakan produsen menggunakan air, metanol atau alkohol untuk fluida kerja. Fluida kerja ini beroperasi daerah liquid yang mendekati titik didihnya. Sehingga semakin tinggi nilai kalor laten dari fluida kerja tersebut maka akan semakin banyak kalor yang mampu diserapnya, dan semakin efisien heat pipe tersebut. Masalah utama banyak dari fluida kerja yang digunakan mudah terbakar dan beracun

**Tabel 2.1** Jenis-jenis fluida kerja pada Heat Pipe

MEDIUM	MELTING PT. (°C)	BOILING PT. AT ATM. PRESSURE (°C)	USEFUL RANGE (°C)
Helium	- 271	- 261	-271 to -269
Nitrogen	- 210	- 196	-203 to -160
Ammonia	- 78	- 33	-60 to 100
Acetone	- 95	57	0 to 120
Methanol	- 98	64	10 to 130

Lanjutan Tabel 2.1

Flutec PP2	- 50	76	10 to 160
Ethanol	- 112	78	0 to 130
Water	0	100	30 to 200
Toluene	- 95	110	50 to 200
Mercury	- 39	361	250 to 650
Sodium	98	892	600 to 1200
Lithium	179	1340	1000 to 1800
Silver	960	2212	1800 to 2300

Tabel 2.2 Karakteristik pengoperasian beberapa heat pipe

Temperature Range (°C)	Heat Pipe Working Fluid	Heat Pipe Vessel Material	Measured axial <sup>(8)</sup> heat flux (kW/cm <sup>2</sup> )	Measured surface <sup>(8)</sup> heat flux (W/cm <sup>2</sup> )
-200 to -80	Liquid Nitrogen	Stainless Steel	0.067 @ -163°C	1.01 @ -163°C
-70 to +60	Liquid Ammonia	Nickel, Aluminum, Stainless Steel	0.295	2.95
-45 to +120	Methanol	Copper, Nickel, Stainless Steel	0.45 @ 100°C <sup>(x)</sup>	75.5 @ 100°C
+5 to +230	Water	Copper, Nickel	0.67 @ 200°C	146@ 170°C
+190 to +550	Mercury* +0.02% Magnesium 0.001%	Stainless Steel	25.1 @ 360°C*	181 @ 750°C
+400 to +800	Potassium*	Nickel, Stainless Steel	5.6 @ 750°C	181 @ 750°C

Lanjutan Tabel 2.2

+500 to +900	Sodium*	Nickel, Stainless Steel	9.3 @ 850°C	224 @ 760°C
+900 to +1,500	Lithium*	Niobium +1% Zirconium	2.0 @ 1250°C 2	207 @ 1250°C
1,500 to +2,000	Silver*	Tantalum +5% Tungsten	4.1	413

<sup>(8)</sup>Varies with temperature

<sup>(x)</sup>Using threaded artery wick

\* Tested at Los Alamos Scientific Laboratory

\* Measured value based on reaching the sonic limit of mercury in the heat pipe

Sumber : Reference of "Heat Transfer", 5th Edition, JP Holman, McGraw-Hill

## 2.4 PENGEMBANGAN SISTEM PENDINGIN TERMOELEKTRIK

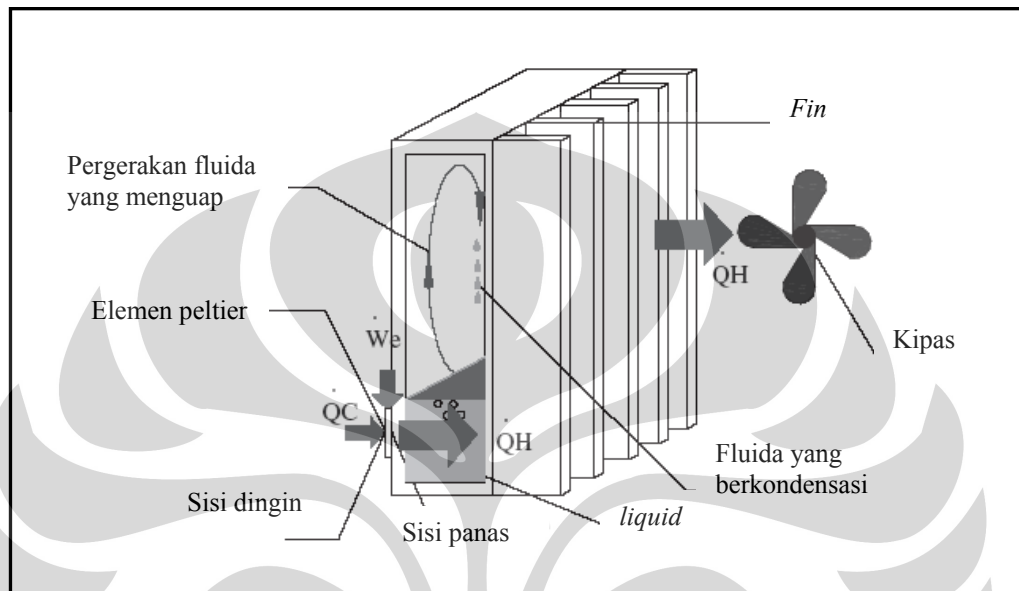
Sistem pendingin termoelektrik yang baik tidak terlepas dari *heat sink* yang baik. Desain dan pemilihan *heat sink* sangat penting dan mempengaruhi secara keseluruhan unjuk kerja sistem termoelektrik. *Heat sink* seharusnya didisain dengan tujuan untuk meminimalkan tahanan termal.

*Heat sink* yang optimal akan meningkatkan coefficient of performance dari sistem pendingin termoelektrik. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memaksimalkan luas permukaan atau dengan menggunakan *heatpipe* untuk mempercepat perpindahan kalor. Alternatif lainnya *heat sink* yang digunakan mempunyai kapasitas penyimpanan kalor yang besar, sehingga dapat menjaga temperatur *heat sink* relatif rendah [12].

### 2.4.1 Termosyphon with Phase Change (TSF)

Optimalisasi *heat sink* pada bagian sisi panas juga dilakukan dengan alat *termosyphon with phase change* (TSF). TSF terdiri dari ruang tertutup yang didalamnya terdapat fluida, elemen peltier pada sisi panas dihubungkan pada bagian bawah TSF yang mengakibatkan fluida tersebut mendidih dengan konveksi alami. Pada sisi lain TSF dihubungkan dengan *fin* yang berfungsi untuk mendinginkan kembali fluida yang menguap, sehingga fluida tersebut

berkondensasi dalam siklus tertutup, seperti pada gambar 2.10. Penggunaan TSF dengan elemen peltier 40x40 mm meningkatkan COP sebesar 26%, pada temperatur lingkungan 293 K, dan meningkat 36,5% pada temperatur lingkungan 303 K, dibandingkan dengan penggunaan *heat sink* konvensional [17].

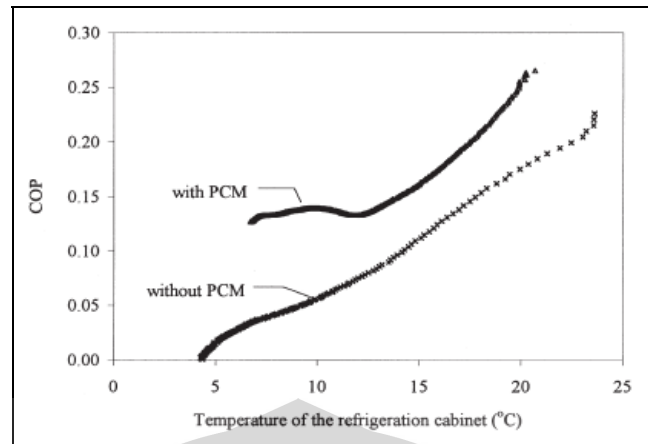


**Gambar 2.10** Diagram termal TSF  
(Sumber : *Journal of Applied Thermal Engineerin*, 2003)

#### 2.4.2 Phase Change Materials (PCM)

Pengembangan selanjutnya menggunakan *phase change materials* (PCM) [12]. Hasil penelitian yang membandingkan penggunaan *heat sink* konvensional pada sisi dingin dengan penggunaan PCM dan sisi panas menggunakan *heatpipe* yang dilengkapi *fan* menunjukkan adanya peningkatan performa dengan menggunakan PCM sebagai *heat sink* pada sisi dingin [12], seperti yang terlihat pada gambar 2.11, sistem yang menggunakan PCM menunjukkan peningkatan COP.

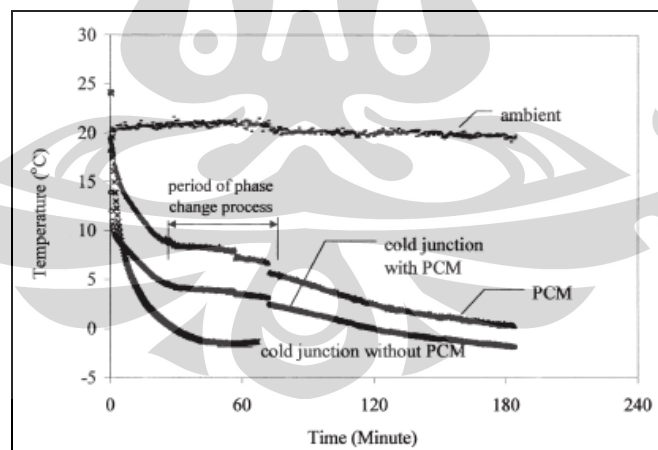




**Gambar 2.11** Perbandingan performa sistem pendingin termoelektrik yang menggunakan PCM dan *heat sink* konvensional pada sisi dingin.

(Sumber : *Journal of Renewable Energy*, 2001)

Walaupun penggunaan PCM menghasilkan COP yang lebih besar, pada gambar 2.12 menunjukkan pada saat awal pendinginan temperatur menurun dengan lambat bila dibandingkan dengan penggunaan *heat sink* konvensional. Hal ini disebabkan energi pendinginan diserap oleh PCM terlebih dahulu. Selama proses perubahan fase (*period of phase change process*) pada PCM, temperatur berada pada kondisi konstan sampai proses perubahan fase selesai.

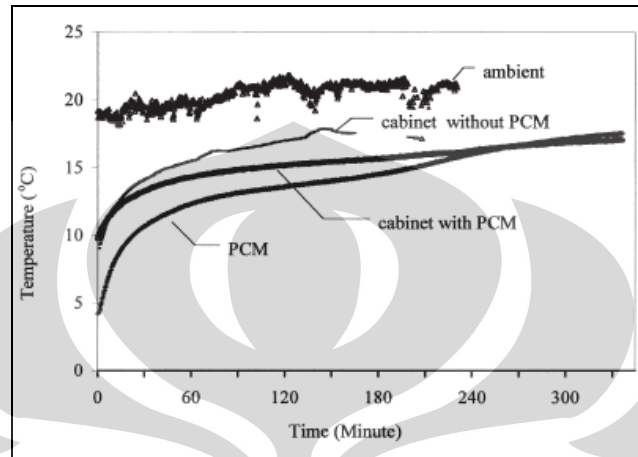


**Gambar 2.12** Variasi temperatur pada sisi dingin selama proses pendinginan dengan menggunakan PCM maupun *heat sink* konvensional.

(Sumber : *Journal of Renewable Energy*, 2001)

Penggunaan PCM yang mempunyai kapasitas kalor yang besar digunakan untuk mengatasi beban maksimum maupun *losses* pada saat tutup dibuka dan

aliran sistem dimatikan. Pendingin termoelektrik yang menggunakan PCM mampu menjaga temperatur beban pendinginan yang lebih lama dibandingkan dengan menggunakan *heat sink* konvensional yang ternyata lebih cepat kembali ke suhu lingkungan seperti pada gambar 2.13 dibawah ini.



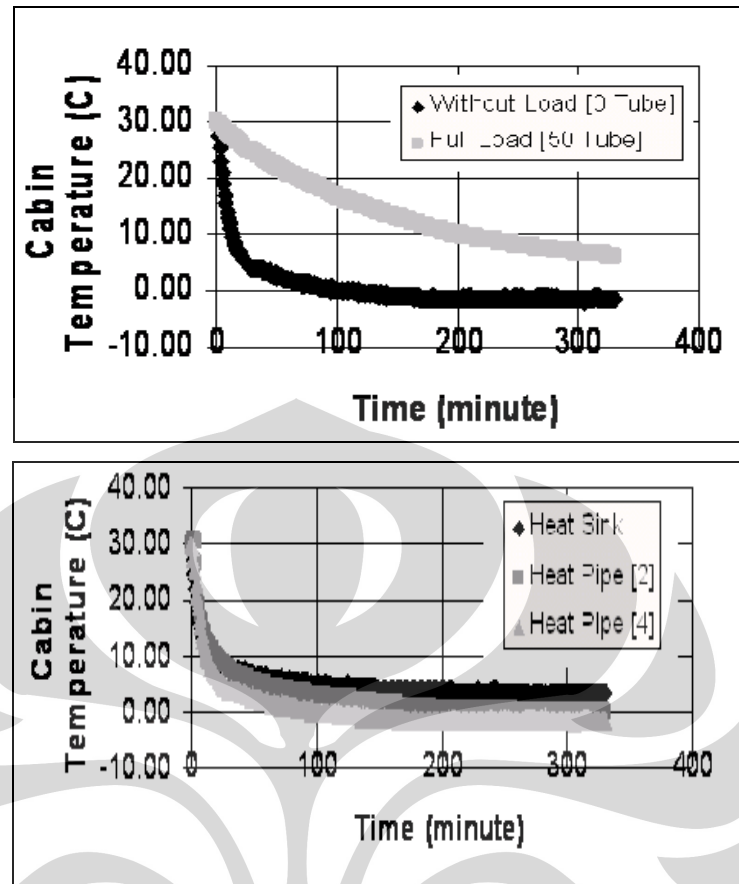
**Gambar 2.13** Variasi temperatur pada sisi dingin setelah aliran listrik pada sistem dimatikan dengan menggunakan PCM maupun *heat sink* konvensional.

(Sumber : *Journal of Renewable Energy*, 2001)

### 2.4.3 Penggunaan Heat Pipe dan Vakum Sebagai Isolasi

Vakum didefinisikan sebagai suatu ruang yang semua isinya dikeluarkan. Selain itu dapat juga dideskripsikan sebagai daerah ruang dimana tekanannya kurang dari tekanan atmosfer normal (760 mm *mercury*). Dengan adanya vakum, konduksi dan konveksi dapat diminimalisir sehingga pada akhirnya radiasi menjadi satu-satunya cara untuk menghantarkan kalor.

Dengan adanya teknologi vakum pada pengembangan *blood carrier* diharapkan dapat mengurangi beban pasif yang diakibatkan konduksi dan konveksi.



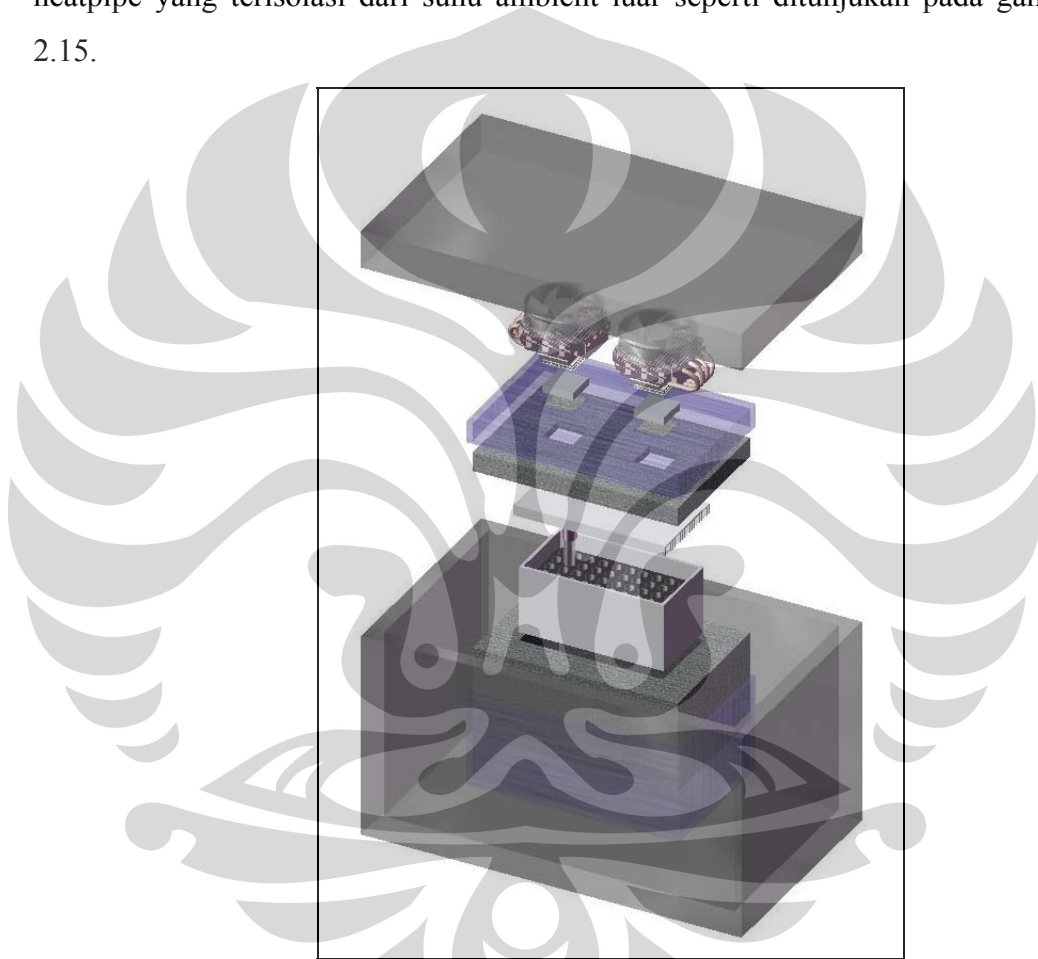
**Gambar 2.14** Variasi temperatur cabin pada sistem pendinginan dengan metode vakum  
(Sumber : Journal QIR 10<sup>th</sup> *The Development of Portable Blood Carrier*, 2007)

Penggunaan heat pipe dan teknologi vakum secara keseluruhan memberikan peningkatan kemampuan pendinginan, akan tetapi masih dibutuhkan waktu yang cukup lama ketika pembebanan maksimum dilakukan, selain itu sistem ini memiliki beberapa kelemahan yaitu :

- Material yang solid sangat dibutuhkan untuk mengatasi tekanan vakum yang cukup tinggi.
- Dampak penggunaan material tersebut menyebabkan biaya menjadi tinggi.
- Kurang dapat mengakomodasi portabilitas karna pompa vakum selalu dibutuhkan.
- Sangat rawan kebocoran, sehingga dibutuhkan perhatian dan perawatan yang cermat.

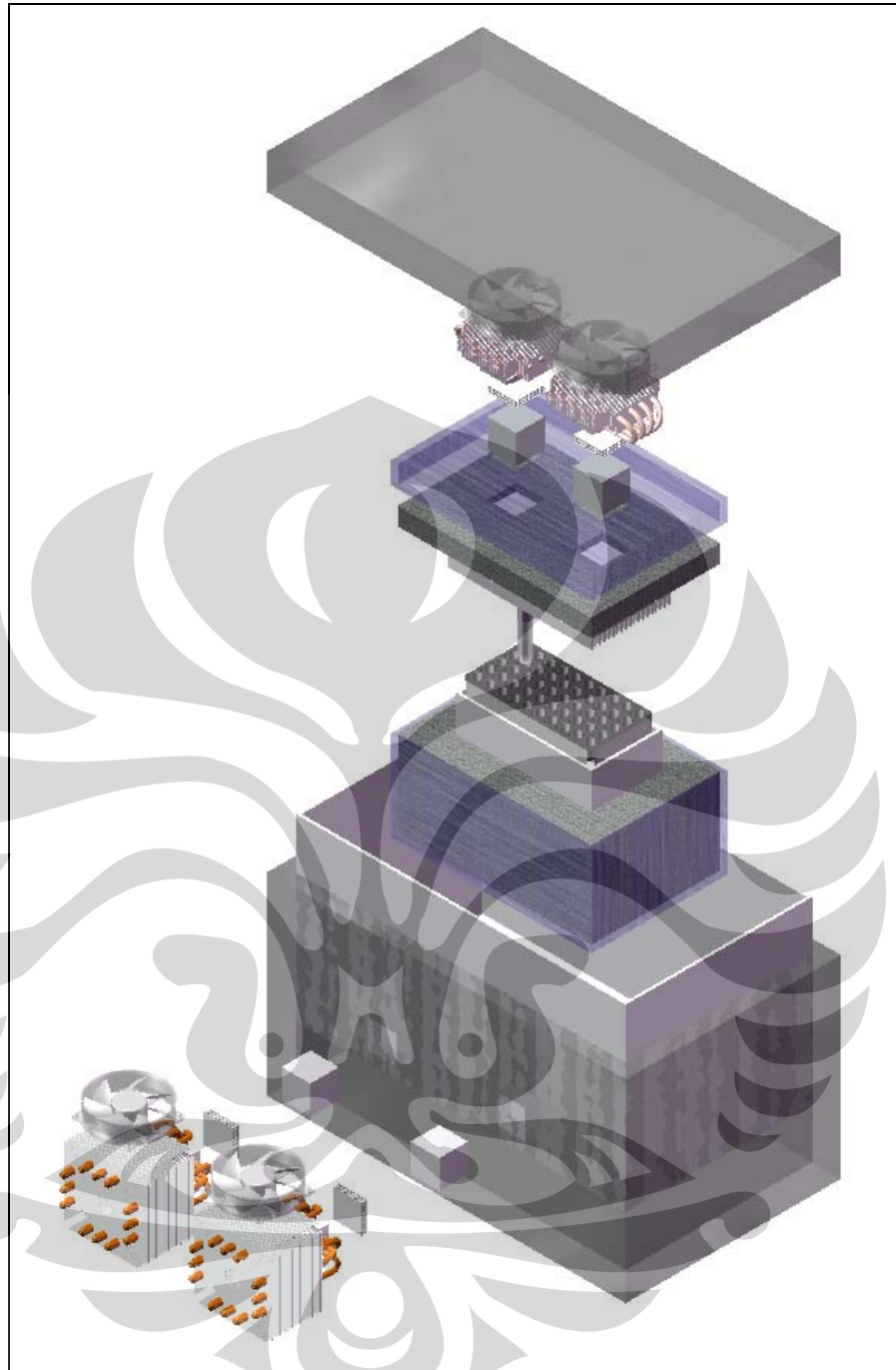
#### 2.4.4 Sistem Pendinginan Bertingkat

Pada penelitian kali ini solusi pendinginan bertingkat digunakan untuk mengatasi sulitnya penerapan teknologi vakum. Secara keseluruhan sistem pendinginan bertingkat lebih sederhana, yaitu dengan menurunkan suhu ruangan bagi heatsink-heatpipe dibawah suhu ambient. Dengan kata lain sistem pendinginan bertingkat menciptakan sebuah ruang ambient buatan bagi heatsink-heatpipe yang terisolasi dari suhu ambient luar seperti ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Sistem pendinginan bertingkat

Pada sistem pendinginan bertingkat suhu isolasi diturunkan dibawah suhu ambient dengan berbagai macam cara, salah satunya yaitu dengan menggunakan *ice pack* atau dengan membuat sistem pendingin baru dengan peltier dan heatsink-heatpipe tambahan seperti ditunjukkan pada gambar 2.16.



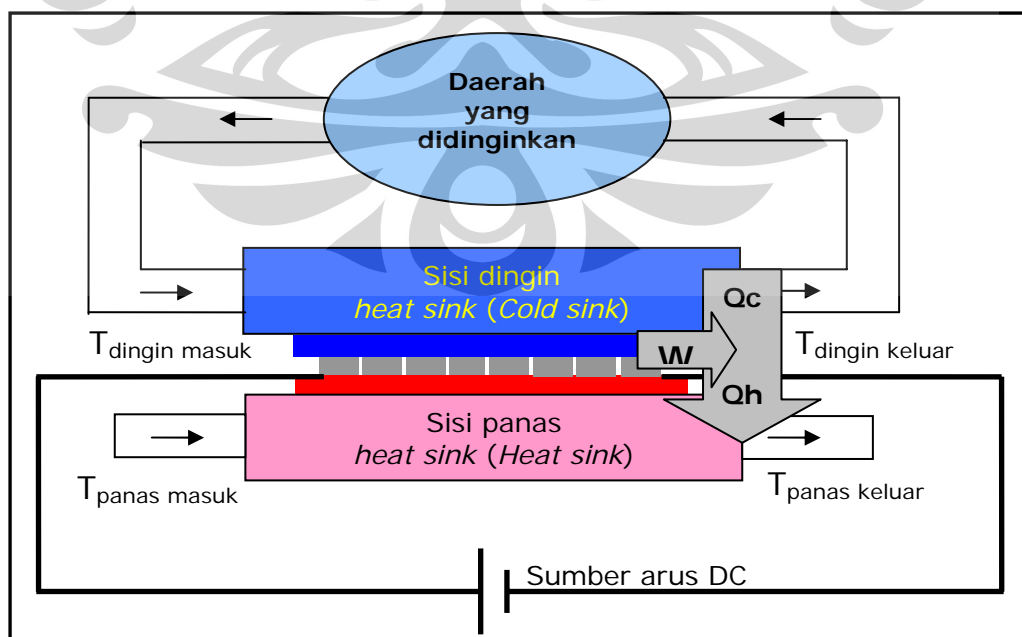
**Gambar 2.16** Sistem pendinginan bertingkat dengan heatsink-heatpipe tambahan

Dengan dipadukannya teknologi heatpipe dan pendinginan bertingkat suhu cabin dapat ditekan menjadi sangat rendah, hasil pengujian menunjukkan lebih dari  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan laju pendinginan yang relatif cepat.

### 2.4.5 Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Ruangan

Teknologi termoelektrik juga telah dapat diaplikasikan pada sistem pendinginan ruangan (*air conditioner*). Penelitian dilakukan dengan membandingkan kinerja *air conditioner* yang menggunakan sistem *vapour compression* dan *absorption air conditioner* menunjukkan antara ke tiga sistem tersebut sistem pendingin *vapour compression* mempunyai COP yang paling baik disusul *absorption* dan termoelektrik, sedangkan dari biaya perawatan *absorption* mempunyai biaya perawatan yang paling kecil kemudian disusul *vapour compression air conditioner* dan termoelektrik *air conditioner*. Kelebihan Termoelektrik *air conditioner* antara lain ramah lingkungan, serta diperkirakan penggunaan termoelektrik akan semakin meluas dengan adanya kesepakatan global untuk bebas refrigeran pendingin yang dapat merusak ozon.

Pada gambar 2.17, menjelaskan skema kerja Termoelektrik *air conditioner*. dimana udara pada daerah yang didinginkan, didinginkan dengan cara melewati sisi dingin *heat sink* dan bersikulasi didalamnya, sedangkan kalor pada sisi panas dilepaskan dengan cara mengalirkan udara ke sisi panas *heat sink*. Sehingga ada kemungkinan penerapan sistem termoelektrik *air conditioner* diterapkan dalam pengembangan sistem pendingin *blood carrier* dengan memanfaatkan efek *buoyancy*.



Gambar 2.17 Skematik termoelektrik *air conditioner*

## 2.5 PERPINDAHAN KALOR PADA ALAT BLOOD CARRIER

Perpindahan kalor yang terjadi pada *Blood Carrier* adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi mulai dari sisi dingin peltier, *spacer block*, *cold sink*, *aluminium casing*, dan heatsink-heatpipe pada sisi panas peltier. Sedangkan konveksi terjadi pada cabin, lingkungan di sekitar alat uji, dan udara di sekitar sirip-sirip *Heat Pipe*.

Konveksi yang terjadi dalam ruang vaksin dan udara di sekitar alat uji adalah konveksi bebas atau alamiah karena pergerakan fluida yang terjadi dikarenakan adanya gaya apung (*bouyancy force*) akibat perbedaan densitas fluida tersebut. Sedangkan konveksi yang terjadi pada sirip-sirip *Heat Pipe* adalah konveksi paksa, karena terdapat gaya luar yang berasal dari *Fan* yang menggerakkan fluida disekitar *Heat Pipe*.

### 2.5.1 Perpindahan Kalor Konduksi

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

Persamaan yang digunakan untuk perpindahan kalor konduksi dikenal dengan Hukum Fourier :

$$q = -k.A \frac{T_0 - T_1}{\Delta x} \dots\dots\dots (2)$$

Jika suatu benda padat disusun berlapis dari material yang berbeda, maka untuk mengetahui nilai perpindahan kalor yang terjadi dapat digunakan pendekatan sistem resistansi listrik. Besarnya tahanan termal yang terjadi adalah perbandingan selisih suhu diantara kedua permukaan ( $T_0-T_1$ ) dengan laju aliran kalor  $q$  (J/s).

Untuk mencari nilai tahanan termal dari suatu material padatan digunakan persamaan :

$$R_T = \frac{T_0 - T_1}{q} = \frac{l}{kA} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- $q$  = Energi kalor (W)
- $k$  = Konduktivitas thermal (W/m.K)
- $A$  = Luas permukaan ( $m^2$ )
- $\Delta x$  = Tebal penampang permukaan (m)
- $T_0$  = Temperatur yang lebih tinggi ( K)
- $T_1$  = Temperatur yang lebih rendah (K)

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

### 2.5.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi akibat adanya pergerakan molekul pada suatu zat, gerakan inilah yang menyebabkan adanya transfer kalor. Konveksi sendiri dapat dibagi menjadi 2, yaitu konveksi bebas atau konveksi alamiah dan konveksi paksa. Konveksi bebas atau konveksi alamiah terjadi apabila pergerakan fluida dikarenakan gaya apung (*bouyancy force*) akibat perbedaan densitas fluida tersebut. Perbedaan kerapatan itu sendiri bisa terjadi karena adanya perbedaan temperatur akibat proses pemanasan. Sedangkan pada konveksi paksa pergerakan fluida terjadi akibat oleh gaya luar seperti dari kipas (*Fan*) atau pompa. Pada perpindahan kalor konveksi berlaku hukum pendinginan Newton, yaitu :

$$q = h.A(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (4)$$



dimana :

$q$  = Energi kalor (W)

$h$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi ( $W/m^2.K$ )

$A$  = Luas area permukaan ( $m^2$ )

$T_s$  = Temperatur permukaan (K)

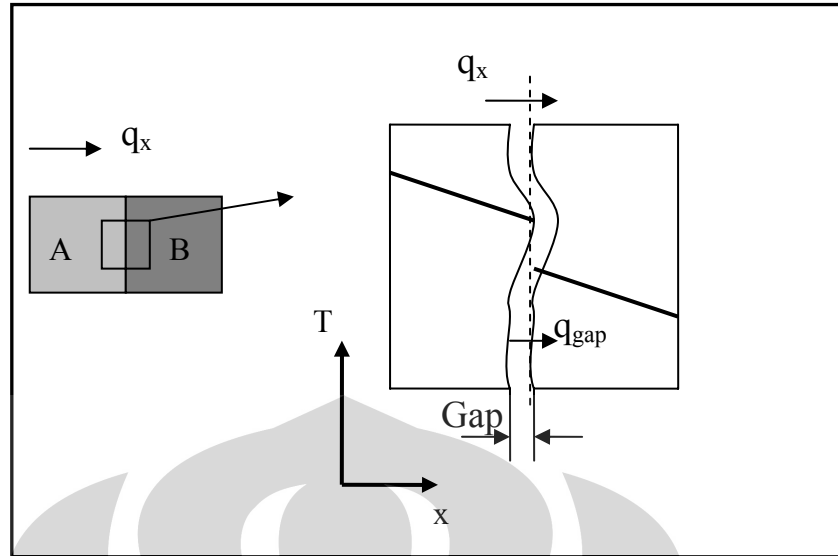
$T_\infty$  = Temperatur *ambient* (K)

### 2.5.3 Tahanan Kontak Termal

Pada pemasangan modul termoelektrik dengan *Heat Pipe* akan terjadi bidang kontak antara keduanya yang akan menyebabkan penurunan temperatur secara tiba-tiba pada persinggungan keduanya. Hal ini terjadi karena adanya tahanan kontak termal (*thermal contact resistance*), dimana nilai kekasaran permukaan bidang kontak akan mempengaruhi laju perpindahan kalor. Ada dua unsur pokok yang menentukan perpindahan kalor pada sambungan, yaitu :

- a. Konduksi antara zat padat dengan zat padat pada titik- titik persinggungan (*contact spot*).
- b. Konduksi melalui gas yang terkurung pada ruang – ruang lowong yang terbentuk karena persinggungan (*air gap*).

Kedua faktor ini diperkirakan memberikan pengaruh utama terhadap aliran kalor, seperti terlihat pada Gambar 2.18 Penurunan temperatur karena adanya hambatan kontak sangat berpengaruh terhadap laju kalor. Karena konduktivitas gas sangat kecil dibandingkan dengan zat padat, maka jika terdapat ruang kosong pada permukaan kontak dapat menyebabkan turunnya daya hantar kalor permukaan.



**Gambar 2.18** Penurunan temperatur karena adanya hambatan kontak

Adapun besarnya nilai tahanan kontak adalah :

$$R_{t,c} = \frac{(T_A - T_B)}{q_x} \quad \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

$R_{t,c}$  = Tahanan termal ( $^{\circ}\text{C} / \text{W}$ )

$T_A$  = Temperatur material A ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_B$  = Temperatur material B ( $^{\circ}\text{C}$ )

$q_x$  = Heat flux ( $\text{W}/\text{m}^2$ )


## BAB III

### PROSES PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

#### 3.1 STUDI KASUS *BLOOD CARRIER* AWAL

Studi kasus ini dilakukan untuk mempelajari dan menganalisa permasalahan yang dihadapi menyangkut pemahaman objek berupa *blood carrier* awal, sehingga akan memperjelas masalah atau tugas yang akan diproses selanjutnya.

Tabel 3.1 Analisa *blood carrier* awal

SPESIFIKASI	ANALISA <i>BLOOD CARRIER</i> AWAL	
	<i>Blood Carrier</i> awal	<i>Blood Carrier</i> baru
Gambar konstruksi		<p style="font-size: 2em;">?</p> <p>(belum diketahui)</p>
<b>Tuntutan Primer</b>		
1. Fungsi	Menghasilkan suhu optimum sebagai <i>blood carrier</i> yaitu 4-6 °C	Dapat menghasilkan suhu optimum <i>blood carrier</i> sebesar 4-6 °C, diusahakan lebih rendah agar dapat dimanfaatkan untuk media penyimpanan lainnya.
2. Kapasitas	50 tube @ 3 mL	50 tube @ 3 mL
3. Pencapaian suhu cabin 4-6 °C @ 50 tube	Sedang, diatas 120 menit	Cepat, diharapkan kurang dari 60 menit

Lanjutan Tabel 3.1

4. Konstruksi	Rumit dengan sistem vakum	Diharapkan sederhana
5. Sistem Pendingin	Peltier dan <i>heatsink-heatpipe</i> dilengkapi dengan sistem vakum	Peltier dan <i>heatsink-heatpipe</i> dengan sistem baru untuk menggantikan vakum
6. Portabilitas	Mudah dibawa akan tetapi pompa vakum tetap dibutuhkan, menggunakan arus DC sebagai sumber tenaga	Prinsip portabel dipertahankan dengan menambahkan fungsi untuk dapat digunakan pada baterai kendaraan
<b>Tuntutan Sekunder</b>		
1. Dimensi	454 x 209 x 264 mm	Diharapkan lebih kecil, maksimum sama
2. Penggunaan	Rumit, dibutuhkan pompa vakum untuk menghasilkan ruang hampa	Mudah digunakan oleh orang awam sekalipun
3. Berat	Isi 8,05 kg Kosong 7,9 kg	Diharapkan seringan mungkin, maksimum sama
4. Pemeliharaan	Dibutuhkan kecermatan, tidak boleh ada kebocoran	Mudah dalam pemeliharaan
5. <i>Assembly</i>	Mudah	Mudah
6. Harga	Mahal, dibutuhkan material yang tahan tekanan tinggi	Diharapkan murah, maksimum sama

### 3.2 DAFTAR TUNTUTAN *BLOOD CARRIER*

Tujuan pembuatan daftar tuntutan ini adalah untuk memperjelas batasan-batasan masalah pembuatan konsep rancangan dan persyaratan apa saja yang harus dipenuhi oleh *blood carrier* baru. Berdasarkan analisa awal dan data-data yang diperoleh maka munculah beberapa tuntutan seperti tabel berikut ini :

Tabel 3.2 Daftar tuntutan

SPESIFIKASI	TUNTUTAN	SKALA PRIORITAS
<b>Tuntutan Primer</b>		
1. Fungsi	Menghasilkan suhu optimum untuk <i>blood carrier</i> 4-6 °C dalam waktu singkat	4
2. Kapasitas	Tidak kurang dari 50 tube masing-masing 3 mL	4
3. Pencapaian suhu cabin 4-6 °C @ 50 tube	Suhu optimum 4-6 °C dalam waktu kurang dari 60 menit	4
4. Konstruksi	Sederhana	3
5. Sistem Pendingin	Elemen pendingin peltier dengan <i>heatsink-heatpipe</i> dan penggunaan sistem pendinginan bertingkat	4
6. Portabilitas	Mudah dibawa dan menggunakan arus DC sebagai sumber tenaga baik dengan <i>power supply</i> maupun baterai kendaraan	2

Lanjutan Tabel 3.2

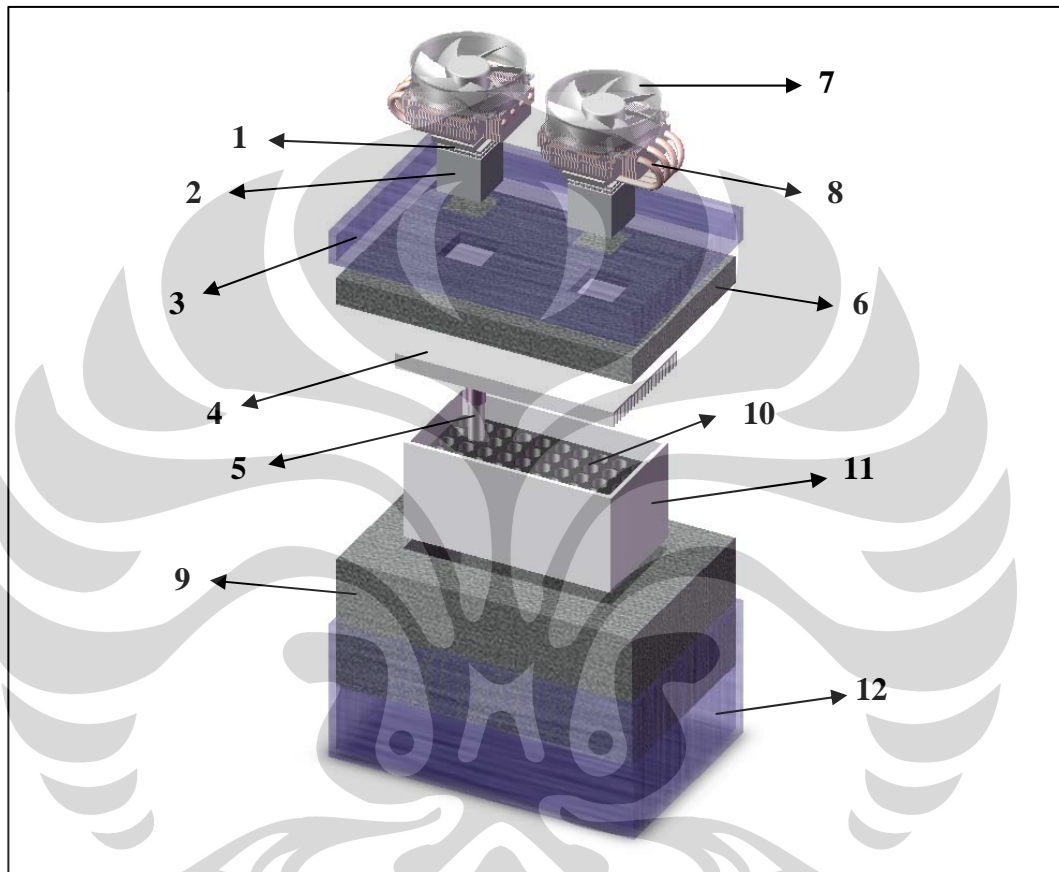
<b>Tuntutan Sekunder</b>		
1. Dimensi	Seringkas mungkin	2
2. Penggunaan	Mudah digunakan oleh operator	2
3. Berat	Dibawah 8 kg	2
4. Pemeliharaan	Mudah dalam perawatan	2
5. Assembly	Mudah ketika bongkar pasang	2
6. Harga	Murah dengan menggunakan bahan baku standar	2

Catatan :

- Skala prioritas 1 : Harapan
- Skala prioritas 2 : Boleh terpenuhi
- Skala prioritas 3 : Harus terpenuhi
- Skala prioritas 4 : Mutlak terpenuhi

### 3.3 KONSEP PEMECAHAN

Setelah melakukan penilaian terhadap daftar tuntutan, maka hasil penilaian yang didapat akan menentukan konsep pemecahan dari *blood carrier* yang akan dirancang.



**Gambar 3.1** Rancangan *Blood Carrier*

Keterangan :

1. Elemen Peltier
2. *Spacer Block*
3. Tutup acrylic
4. *Aluminium Cold Sink*
5. Tube 3 mL
6. Sterofoam tutup
7. Kipas DC 9 cm
8. Heatsink – heatpipe
9. Sterofoam *casing*
10. *Rack*
11. *Aluminium casing*
12. *Acrylic case*

Setiap komponen mempunyai fungsi yang spesifik, berikut ini akan dijelaskan fungsi dari masing-masing bagian *blood carrier* :

### 1. Elemen Peltier

Alat ini menggunakan dua buah elemen peltier sebagai pompa kalor solid (*solid-state heat pump*). Elemen peltier digunakan karena bentuknya yang ringkas dan tidak menggunakan *refrigerant* sebagai media perpindahan kalor.

Dua buah elemen peltier yang digunakan disusun seri secara kelistrikan dan paralel secara termal. Penyusunan elemen peltier secara seri dalam hal kelistrikan dimaksudkan agar diperoleh nilai arus listrik yang optimal pada tegangan kerja 12V DC, karena jika disusun paralel akan memberikan hambatan total yang kecil sehingga arus yang dibutuhkan sangat besar untuk tegangan kerja yang sama. Penyusunan elemen peltier secara paralel dalam hal termal dimaksudkan agar didapat  $\Delta T$  yang besar, karena sisi panas peltier pertama didinginkan oleh sisi dingin peltier kedua sehingga sisi dingin peltier pertama akan semakin dingin dan dapat memindahkan kalor lebih banyak dari ruang vaksin dibanding jika hanya memakai satu elemen peltier.



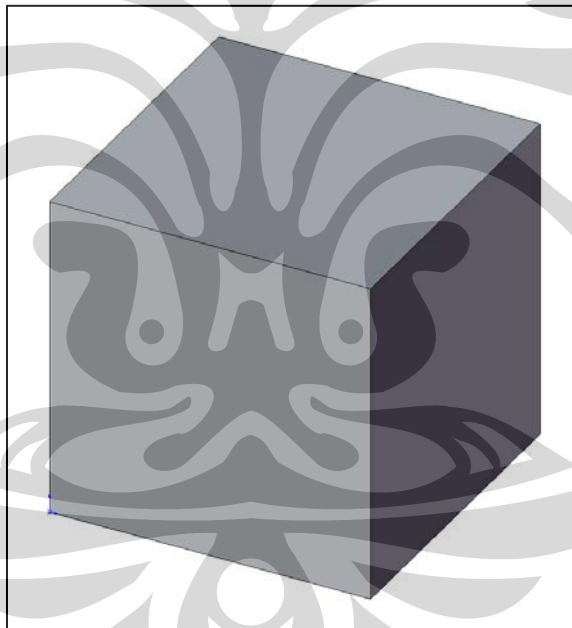
**Gambar 3.2** Elemen Peltier disusun bertingkat



## 2. *Spacer Block*

*Spacer Block* berfungsi sebagai penghantar kalor yang menghubungkan antara ruang vaksin dan sisi dingin peltier. Material yang digunakan adalah alumunium karena memiliki sifat :

- Konstanta konduktivitas kalor yang besar sehingga dapat berfungsi sebagai konduktor termal.
- Memiliki sifat tahan terhadap korosif.
- Tidak getas, atau memiliki keuletan yang tinggi. Hal ini bertujuan agar ruang pendingin tidak mudah rusak jika dilakukan proses bongkar pasang.
- Mudah dibentuk, sehingga *Spacer Block* dapat dibuat sesuai dengan desain yang dibuat.



Gambar 3.3 Alumunium *Spacer Block*

## 3. *Tutup dan Case Acrylic*

Merupakan bagian terluar dari *blood carrier* yang berfungsi sebagai penyekat dan membatasi antara sistem alat dengan lingkungan luar. Bagian ini terbuat dari meterial *acrylic* dan terdiri dari 2 buah part, yaitu bagian tutup dan

*casing*. Adapun sifat material yang diharapkan terdapat pada komponen ini adalah :

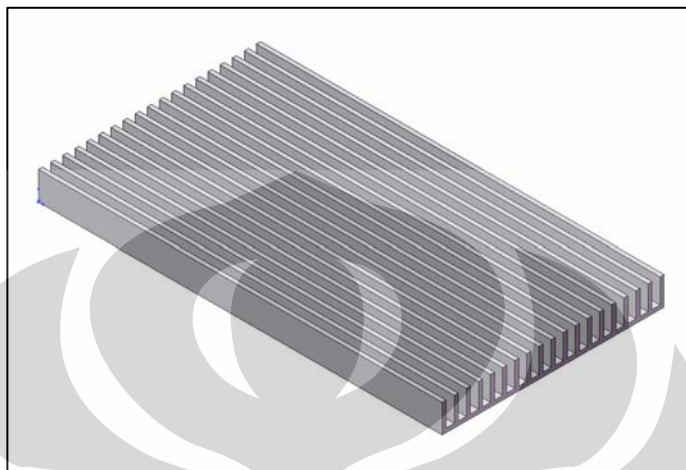
- Konstanta konduktivitas kalor yang kecil sehingga dapat berfungsi sebagai isolasi thermal.
- Nilai tahanan listrik yang tinggi sehingga dapat berfungsi sebagai isolasi listrik. Isolasi listrik ini bertujuan untuk memenuhi faktor keamanan dalam penggunaan, serta menghindari kerusakan komponen listrik akibat terjadinya *short*.
- Mudah dibentuk, sehingga desain dapat dilakukan dengan hambatan yang sedikit.
- Tidak getas, atau memiliki keuletan yang tinggi. Hal ini bertujuan agar dinding penyekat tidak mudah rusak jika mengalami benturan.
- Memiliki sifat transparan. Tujuannya adalah agar bagian dalam dari alat ini dapat dilihat dari luar sehingga memberikan kemudahan untuk diteliti.



**Gambar 3.4** *Acrylic case*

#### 4. *Alumunium Cold Sink*

Untuk mengoptimalkan proses penyerapan kalor dari dalam *casing* maka *cold sink* yang terbuat dari bahan alumunium digunakan untuk memperbesar luas permukaan.



**Gambar 3.5** *Alumunium cold sink*

Berdasarkan data pengujian, desain *blood carrier* vakum sebelumnya, penggunaan *cold sink* pada sisi dingin lebih efektif dibandingkan dengan tanpa *cold sink*. Sistem pendingin tanpa *cold sink* pada 20 menit awal menunjukkan penurunan temperatur yang lebih cepat, tetapi pada menit berikutnya penurunan suhu menuju ke arah konstan, sedangkan suhu ruangan *blood carrier* dengan *cold sink* pada sisi dingin terus menurun.

#### 5. *Tube 3 mL*

Tube yang dipakai adalah jenis *vakum tube* terbuat dari kaca dengan volume 3 mL yang digunakan sebagai *container* sampel darah. Dalam pengujian, sampel darah digantikan dengan air.

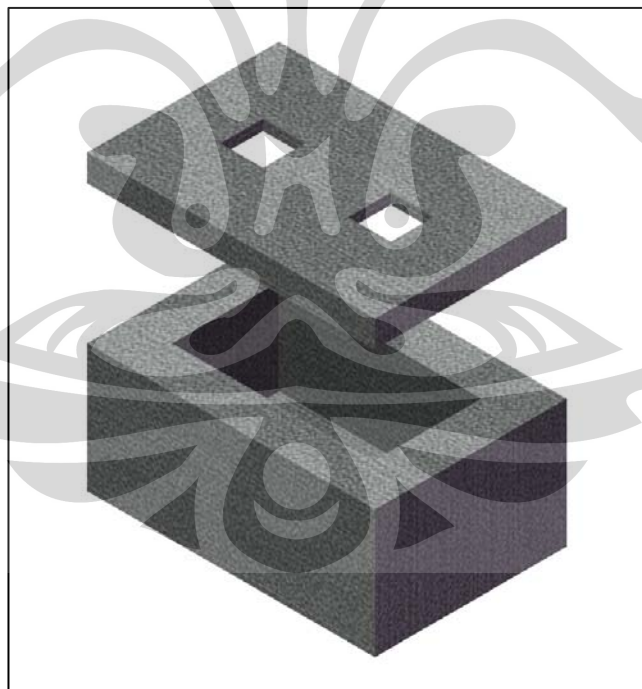


**Gambar 3.6** *Tube 3 mL*

## 6. Sterofoam untuk Tutup dan Case

Sterofoam digunakan sebagai isolasi. Fungsi dari isolasi ini ialah membatasi proses serapan kalor supaya hanya terjadi pada ruang pendingin dan tidak menyebar ke bodi dan sekitarnya. Sekaligus untuk mencegah masuknya kalor dari luar sistem pendingin. Maka dari itu isolasi harus memiliki sifat isolator yang bagus / daya hantar kalor yang sangat rendah (daya hantar kalor yang sangat rendah karena berfungsi sebagai pembatas utama antara sistem dengan lingkungan), mudah dibentuk sesuai keinginan, dan elastis (supaya dapat mengisi rongga – rongga yang muncul akibat kurang ratanya komponen – komponen yang ada seperti tutup, *aluminium casing*, dan *acrylic case*).

Selain itu ada beberapa bagian dari isolasi yang menggunakan bahan karet, polyethylene, dan perekat silikon dengan tujuan agar isolasi menjadi sempurna karena bahan ini cenderung elastis dan mengikuti bentuk benda yang menempel padanya.

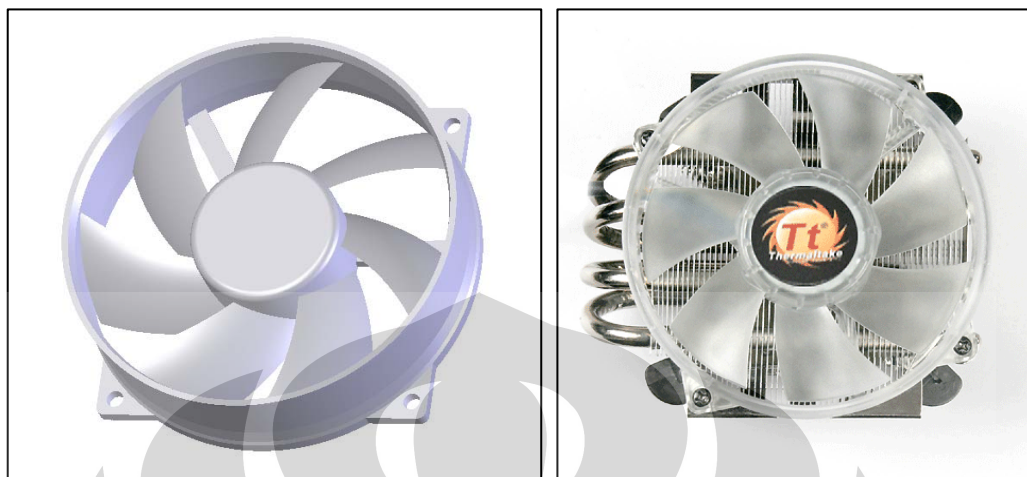


Gambar 3.7 Isolasi dari bahan sterofoam

## 7. Kipas DC 9 cm

Agar pertukaran kalor antara *heatsink-heatpipe* dan udara sekitarnya dapat dilakukan dengan cepat maka dipergunakan sebuah kipas yang digunakan untuk

mendinginkan *heatsink-heatpipe* secara paksa. Kipas diletakan diatas *heatsink-heatpipe* dengan arah aliran keatas (udara ditarik dari *heatsink-heatpipe*).



**Gambar 3.8** Kipas DC

(Sumber : [www.thermaltake.com](http://www.thermaltake.com))

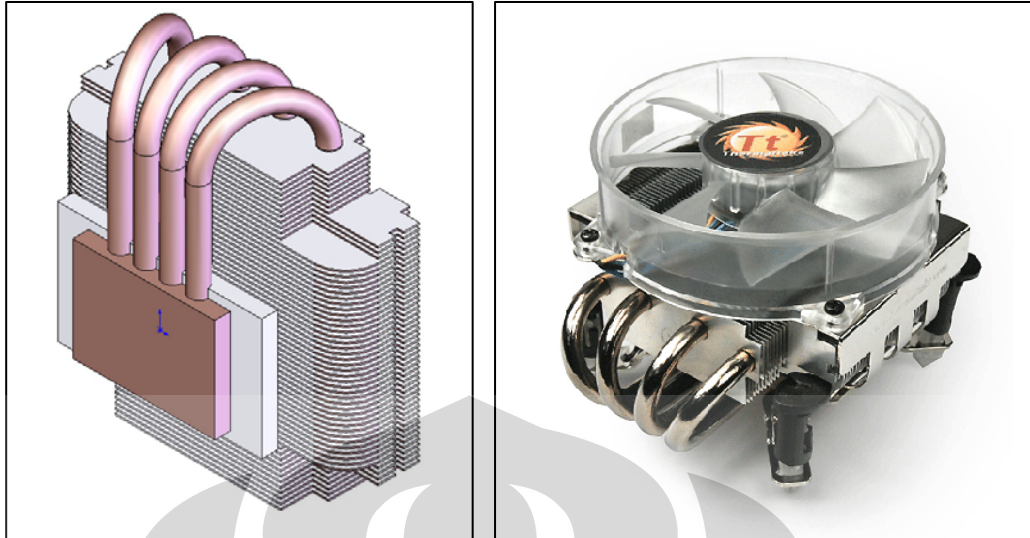
**Spesifikasi kipas yang digunakan :**

<i>Manufacturer</i>	: Thermaltake
<i>Dimension</i>	: Ø 90 x 25 mm
<i>Rated Voltage</i>	: 12 V
<i>Started Voltage</i>	: 11.4 V ~ 12.6 V DC
<i>Fan Speed</i>	: 700 ~ 2500 rpm
<i>Max. Air Flow</i>	: 41.41 CFM Max
<i>Air Pressure</i>	: 2.48 mm H <sub>2</sub> O
<i>Noise</i>	: 21 dBA
<i>Life Expectation</i>	: 30,000 Hours

**8. *Heatsink – Heatpipe***

*Heatsink-Heatpipe* dengan tambahan *Fan* digunakan sebagai kopel bagi peltier yang berfungsi untuk menjaga  $T_h$  peltier tidak terlalu tinggi, sehingga  $T_c$  yang dicapai dapat menjaga temperatur ruang vaksin pada kisaran yang dibutuhkan. *Heatsink-heatpipe* ini merupakan pengganti *Heatsink-Fan* pada penelitian sebelumnya.





**Gambar 3.9** HeatSink – HeatPipe dengan tambahan Fan

(Sumber : [www.thermaltake.com](http://www.thermaltake.com))

#### **Spesifikasi HeatSink – HeatPipe :**

*Manufacturer* : Thermaltake

*Heatsink Dimension* : 105 (L) x 93 (W) x 85 (H) mm

*Heatsink Material* : Aluminum fins (58fin) soldering copper base

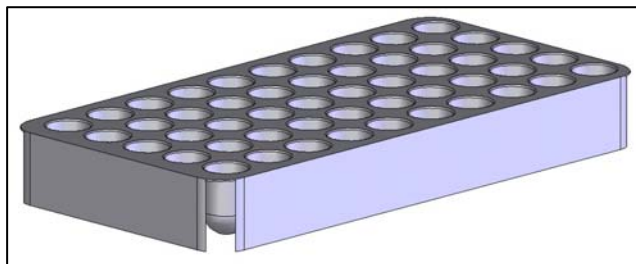
*Heatpipe* : Ø 6mm Copper Tube x 4pcs

*Weight with Fan* : 382 g

Antara peltier dan permukaan konduktor diberi *thermal paste* untuk memberikan perpindahan kalor yang baik pada permukaan yang bersentuhan tersebut.

#### **9. Rack**

Sebagai pemegang/penahan tube agar selalu pada posisi vertikal maka di gunakan sebuah *rack* yang terbuat dari plastik dengan kapasitas 50 tube.



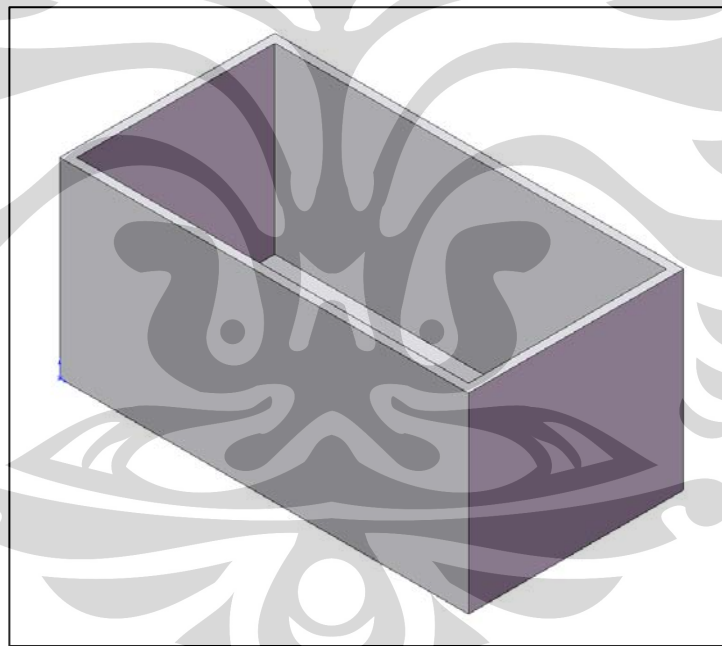
**Gambar 3.10** Rack Plastik

## 10. *Alumunium Casing*

Untuk mempercepat penyerapan panas pada cabin, digunakan plat alumunium yang bertindak sebagai konduktor pada sisi-sisi ruang yang didinginkan.

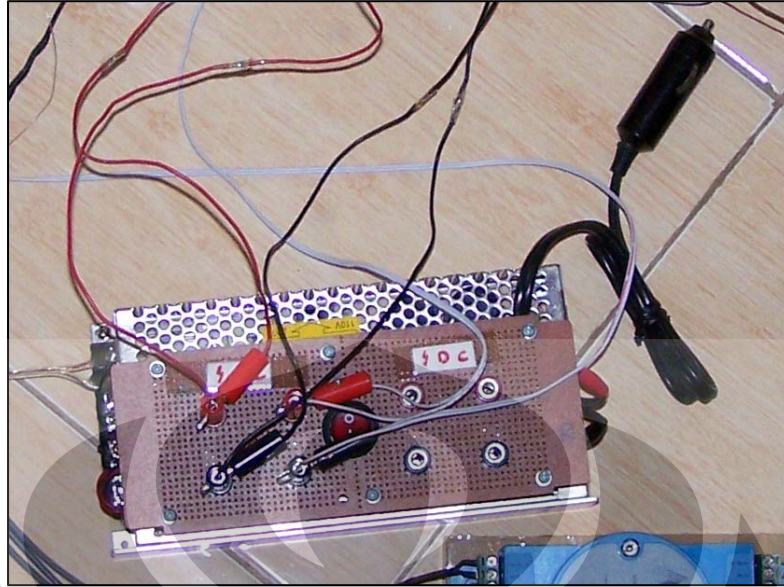
Adapun sifat material yang diharapkan pada ruang pendingin vaksin ini adalah :

- Konstanta konduktivitas kalor yang besar sehingga dapat berfungsi sebagai konduktor termal.
- Memiliki sifat tahan terhadap korosif.
- Tidak getas, atau memiliki keuletan yang tinggi. Hal ini bertujuan agar ruang pendingin tidak mudah rusak jika dilakukan proses bongkar pasang.



**Gambar 3.11** *Alumunium Casing*

Sebagai sumber tenaga utama untuk kipas dan peltier maka digunakan sebuah *power supply* DC. *Power supply* ini dilengkapi pula dengan konektor AC, konektor AC digunakan apabila *blood carrier* tidak jauh dari sumber listrik PLN. Untuk portabilitas *power supply* juga dilengkapi dengan konektor tambahan untuk digunakan dalam kendaraan.



Gambar 3.12 Power Suplly DC

### 3.4 PEMBUATAN ALAT

Pembuatan alat ini dilakukan setelah desain alat disetujui. Prototipe alat hanya dibuat 1 buah yang akan digunakan untuk pengambilan data.

Proses pembuatan alat ini sangat bervariasi tergantung dari komponen – komponennya. Ada yang langsung dibeli, ada yang harus dibuat khusus (*customize*), ada yang harus diproses lebih lanjut, dan lain – lain. Semuanya mengacu pada ketersediaan komponen di pasaran. Untuk lebih jelasnya dapat dirinci sebagai berikut :

#### 1. Pembuatan *Casing Acrylic*

*Casing* menggunakan bahan dasar *acrylic*. Untuk mendapatkan bentuk sesuai dengan desain yang diinginkan maka pembuatan *casing* dilakukan oleh *workshop* yang spesialisasi usahanya dibidang pengerjaan *acrylic*. Komponen-komponen seperti *heat pipe-fan* dan kontrol temperatur diberikan terlebih dahulu untuk menyesuaikan dengan pembuatan *casing*.



## 2. Pembuatan *Alumunium Casing*

Untuk pembuatan *alumunium casing* dilakukan oleh *workshop* yang spesialisasi usahanya dibidang pembentukan pelat untuk alat-alat rumah tangga sepaerti panci, oven dan lain-lain. Bahan baku yang digunakan adalah pelat alumunuim dengan ketebalan 1 mm.

## 3. Pembuatan *Spacer Block*

Pembuatan *Spacer Block* dilakukan di Laboratorium Manufaktur lantai 2 Departemen Teknik Mesin FTUI. Pengerjaannya menggunakan mesin milling CNC untuk mendapatkan hasil yang baik.

## 4. Pembuatan Isolasi

Isolasi dalam alat ini ada 3 yaitu isolasi styerofoam, polyetylene, dan karet. Untuk styerofoam didapat dengan membeli styerofoam lembaran yang ada di pasaran dan memiliki ketebalan 15 mm. Proses pengerjaannya ialah dengan memotong *styerofoam* lembaran tadi menjadi berukuran sesuai dengan yang diinginkan baik itu dari segi panjang dan lebar, maupun ketebalan itu sendiri.

Untuk isolasi polyetylene, diperoleh dari bahan – bahan sisa pabrik alat – alat pendingin yang tidak terpakai. Proses pembuatan sama dengan pembuatan styerofoam yaitu dengan memotong polyetylene menjadi bentuk yang diinginkan dengan menggunakan cutter

Untuk isolasi karet ring tidak dibuat, melainkan langsung dibeli di pasaran dikarenakan bahan yang sifatnya umum dan tersedia banyak. Dilakukan proses pemotongan sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

## 5. Peltier

Peltier didapat dengan cara membeli langsung benda yang ada di pasaran. Berdasarkan hasil survey, dipilihlah peltier berukuran 40 mm x 40 mm x 3,5 mm, dikarenakan ketersediaan benda di pasar dan juga tinjauan harga peltier yang digunakan tidak memiliki spesifikasi dan merk

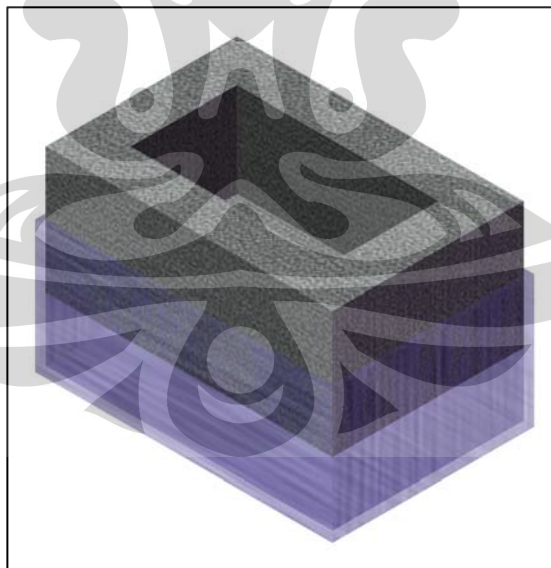
### 6. *Heatsink – Heatpipe – Fan*

*Heatsink – heatpipe* yang digunakan sama seperti yang digunakan untuk mendinginkan CPU komputer. Karna cukup sulit dalam hal pembuatan maka alat ini dibeli langsung dari toko. Setelah melakukan beberapa pertimbangan *heatsink* yang dipilih adalah buatan Thermaltake dengan tipe *Silent 775D*. *Heatsink* ini telah dilengkapi dengan sebuah kipas yang terbuat dari plastik ABS.

### 3.5 PERAKITAN ALAT

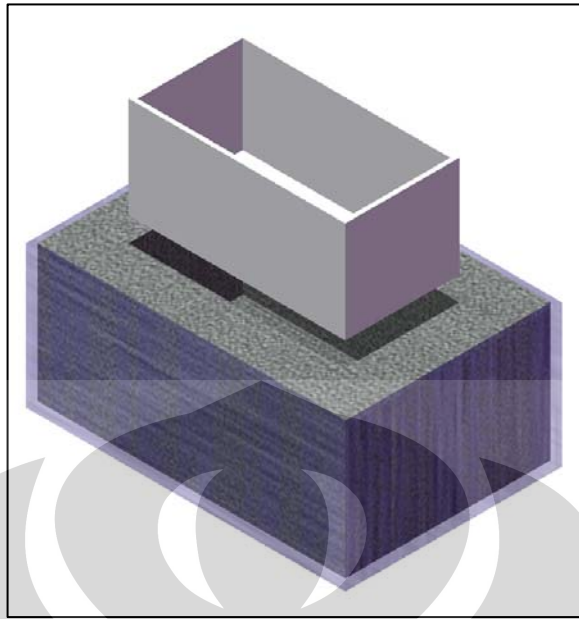
Setelah seluruh komponen alat telah siap, langkah selanjutnya adalah merakit komponen-komponen tersebut menjadi sebuah *blood carrier*. Langkah-langkah perakitannya adalah sebagai berikut :

1. Pasang kunci untuk *acrylic case*, kunci ini berguna untuk menekan penutup sehingga terpasang kuat pada *acrylic case*.
2. Isolasi sterofoam yang telah dibentuk dimasukkan ke dalam *acrylic case*. Masukkan secara paksa sehingga udara tidak mengisi antara *acrylic case* dan sterofoam.



**Gambar 3.13** Pemasangan sterofoam ke dalam *acrylic case*

3. Selanjutnya pasang *aluminium casing*, masukan juga secara paksa ke dalam sterofoam.



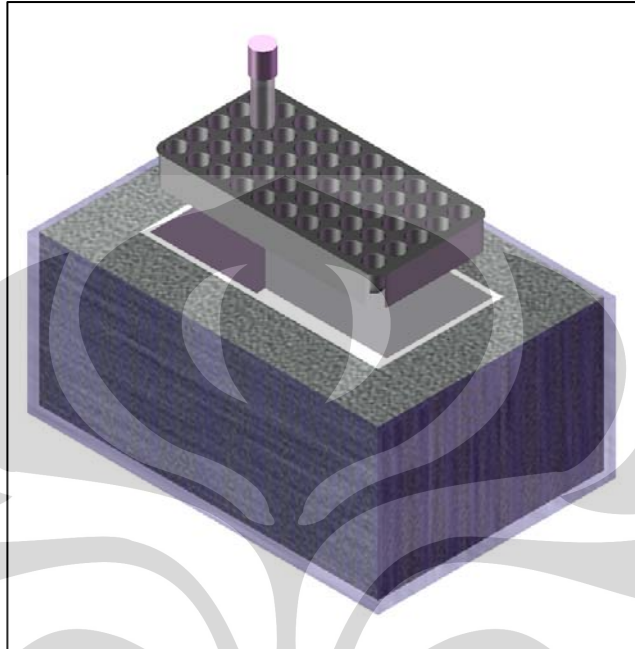
**Gambar 3.14** Pemasangan *aluminium case*

4. Perhatikan apabila ada isolasi yang renggang, apabila ada bagian yang renggang atau berongga segera tambal dengan perekat silicon untuk kaca. Bagian atas yang bersinggungan dengan tutup, tambahkan isolasi yang terbuat dari polyethylene agar ketika ditutup rongga – rongga tidak akan timbul, selalu rekatkan dengan perekat silicon. Setelah semuanya terpasang akan tampak seperti gambar 3.15 dibawah ini.



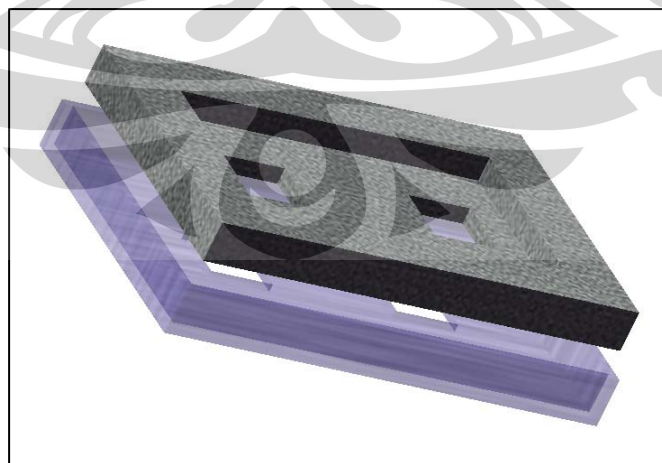
**Gambar 3.15** Pemasangan Isolasi dan *aluminium case*

5. Letakan Rak plastik kedalam *aluminium case*, rak ini nantinya digunakan untuk menahan tube yang berisi sampel darah agar selalu dalam posisi vertikal.



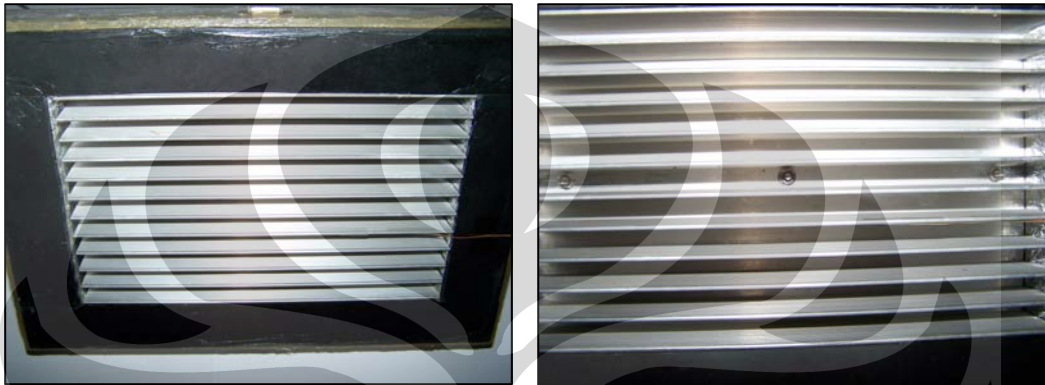
**Gambar 3.16** Pemasangan rak plastik

6. Beralih ke bagian tutup. Pasang kunci untuk bagian tutup, lalu pasang juga styrofoam yang telah dibentuk, rekatkan dengan perekat silikon.



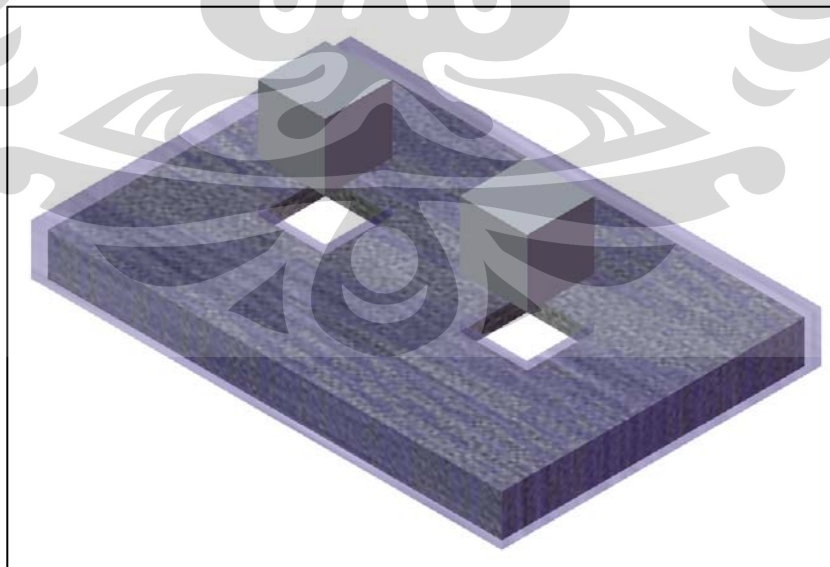
**Gambar 3.17** Pemasangan isolasi untuk tutup

7. Tambahkan isolasi karet pada permukaannya, isolasi karet ini nantinya akan bersentuhan dengan isolasi polyethylene pada *crylic case* sehingga keduanya menempel dengan baik.
8. Berikutnya pasang *cold sink*, kunci dengan baut – mur. Pastikan *cold sink* terpasang sejajar/rata. Setelah semuanya terpasang maka akan terlihat seperti gambar 3.18 dibawah ini.



**Gambar 3.18** Pemasangan *Cold Sink*

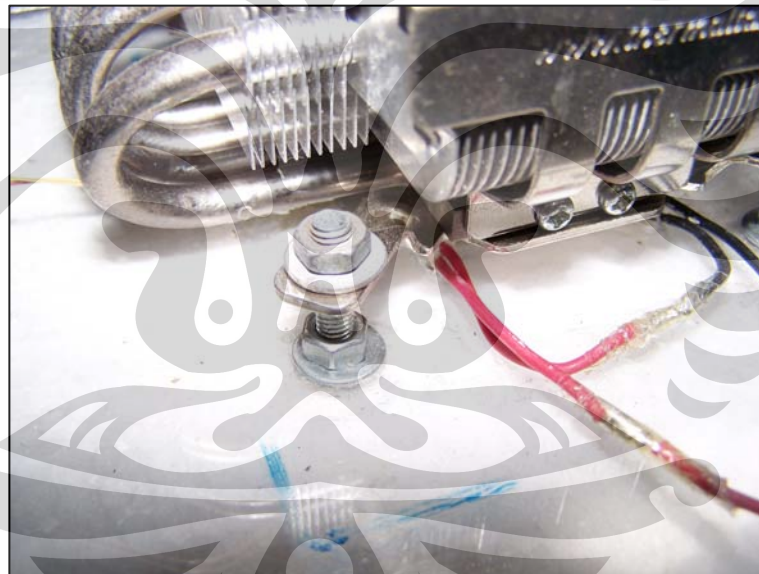
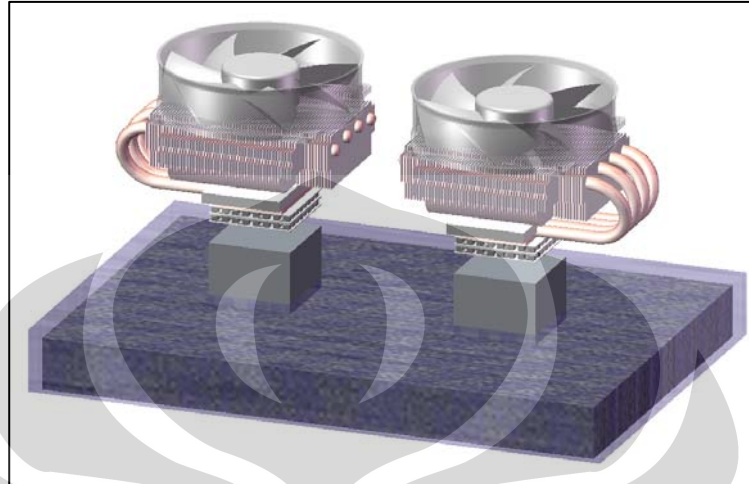
9. Pasang *spacer block*, oleskan *thermal paste* pada bagian yang akan bersentuhan dengan *cold sink* dan peltier.



**Gambar 3.19** Pemasangan *Spacer Block*

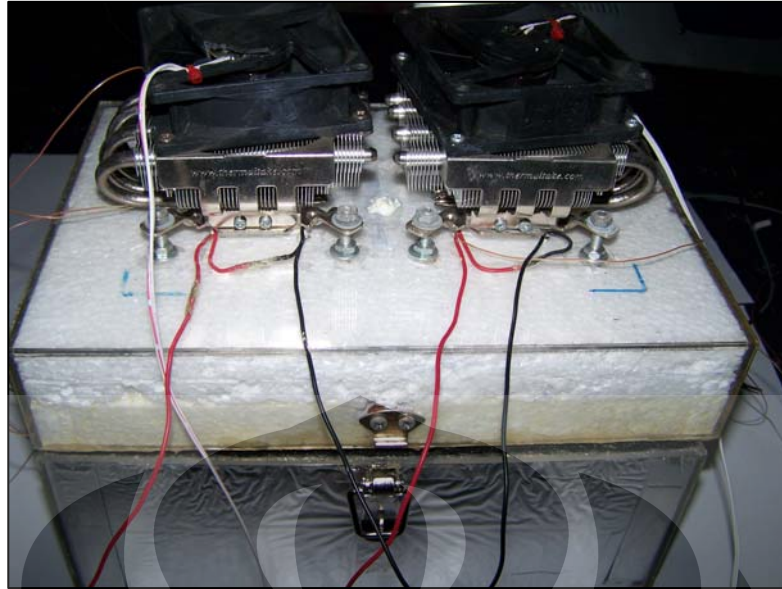


10. Pasang sistem pendingin yaitu peltier dan *Heatsink – heatpipe*, oleskan *thermal paste* pada permukaan yang bersinggungan. Kencangkan baut penahannya.



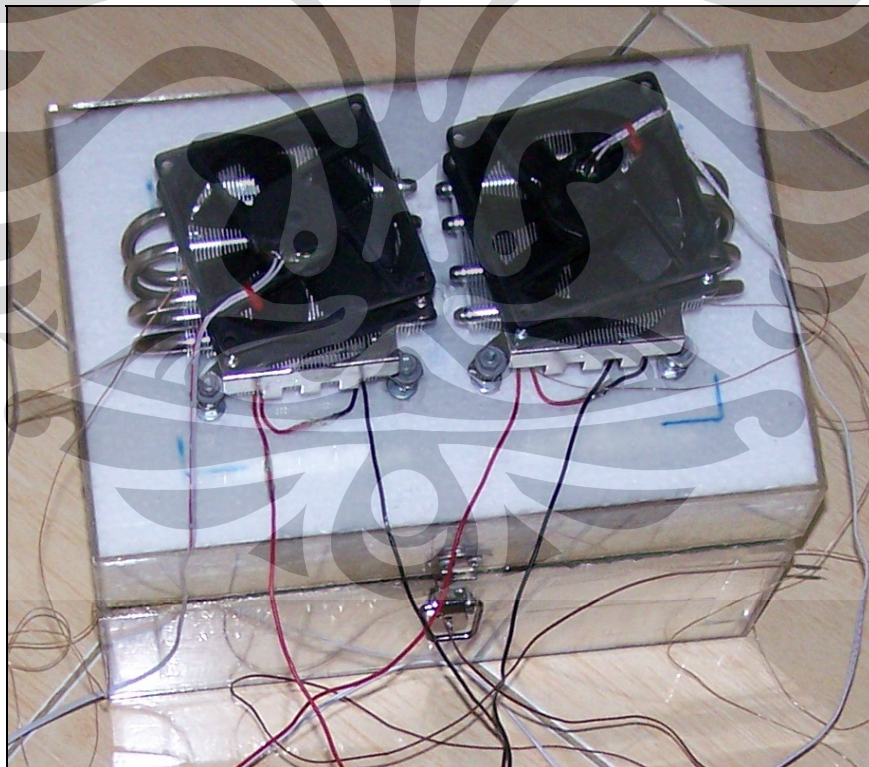
**Gambar 3.20** Pemasangan peltier dan *heatsink - heatpipe*

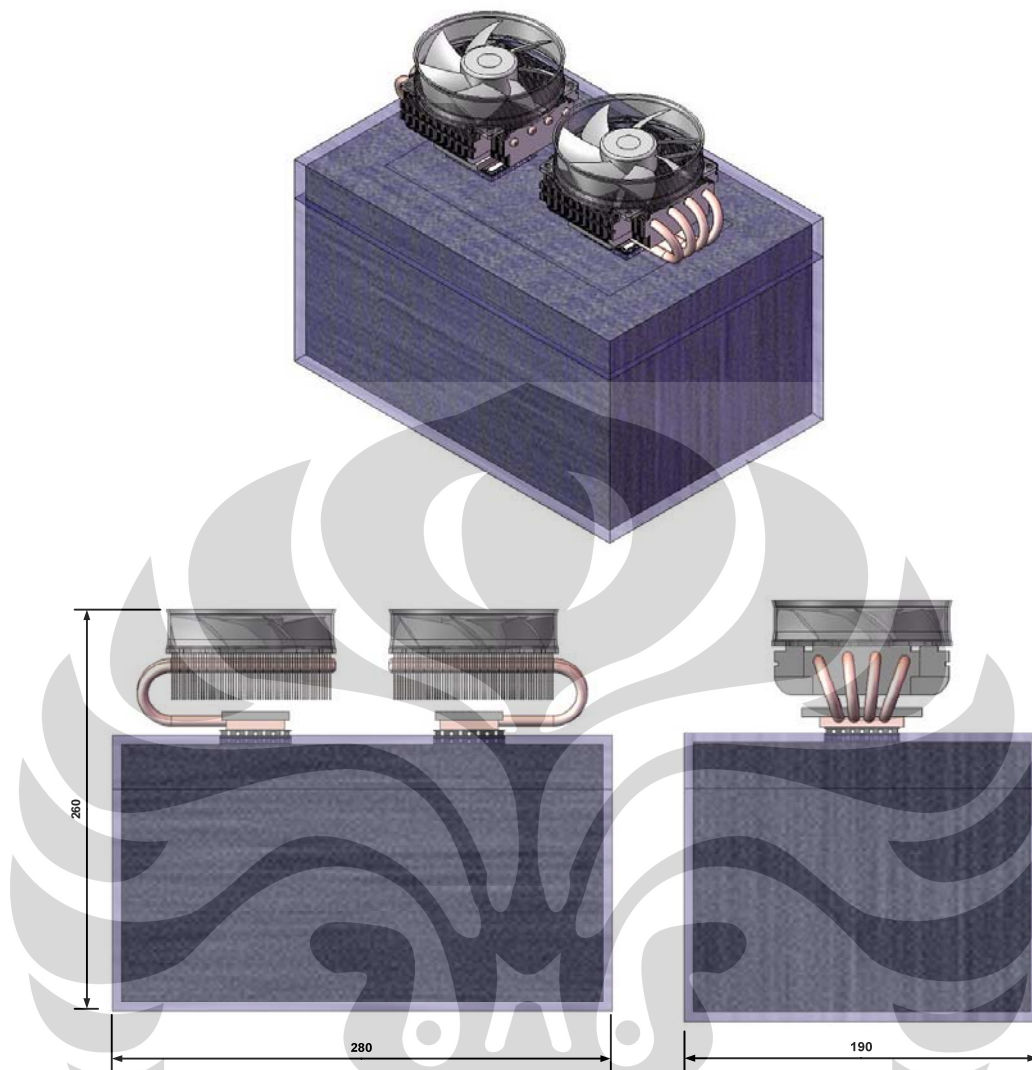
11. Setelah semuanya terpasang keseluruhan *blood carrier* akan tampak seperti gambar 3.21 berikut ini.



**Gambar 3.21** Perakitan selesai

### **3.6 SPESIFIKASI ALAT**





**Gambar 3.22** *Blood Carrier*

Spesifikasi Teknis *Blood Carrier*

Dimensi	: 280 x 190 x 260 mm
Berat Isi	: 3,5 kg
Berat Kosong	: 3 kg
Tegangan	: 12 Volt DC
Daya	: 48 Watt
Kapasitas Darah	: 50 <i>tube</i> @ 3 ml
Sistem Pendingin	: Elemen Peltier Dua Tingkat dengan Heat Pipe-Fan
Material Casing	: Acrylic
Material Insulasi	: Sterofoam, karet, polyethylene



## **BAB IV**

### **PENGUJIAN *BLOOD CARRIER***

#### **4.1 TUJUAN PENGUJIAN**

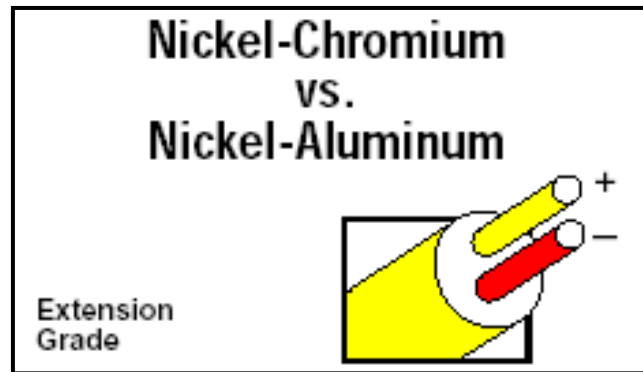
Tujuan dari pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui *performance* atau unjuk kerja dari *blood carrier* dengan menggunakan sistem pendinginan bertingkat ditinjau dari perubahan temperatur *cabin*, sehingga dapat diketahui perbandingan unjuk kerja desain saat ini dan desain sebelumnya.

#### **4.2 KOMPONEN PENGUJIAN**

Peralatan pendukung diperlukan agar pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan, peralatan tersebut berupa peralatan listrik seperti power supply, sensor temperatur berupa termokopel beserta data kalibrasinya, dan data akuisisi.

##### **4.2.1 Termokopel**

Termokopel yang digunakan dalam pengujian adalah termokopel tipe K, dengan material pembentuknya adalah Kromel (Nikel-Kromium) dan Alumel (Nikel-Aluminium), termokopel menggunakan prinsip efek *Seebeck* dalam pengukuran temperatur, dengan pembangkit tegangan sebagai fungsi dari gradien temperatur. Nilai dan fungsi dari gradien temperatur tersebut bergantung pada jenis komposisi material termokopel yang digunakan. Karena output dari termokopel berupa tegangan (mV), maka untuk membacanya digunakan data akuisisi.



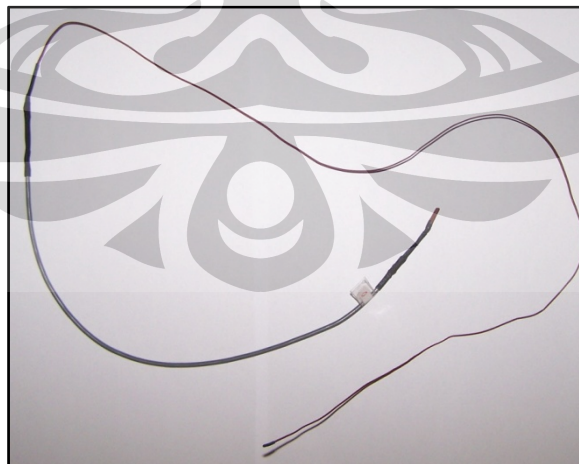
**Gambar 4.1** Termokopel tipe K

(Sumber : Skripsi Didi Wahyu W, 2007)

Karna bahan termokopel sangat rapuh terhadap tekukan maka bagian yang terhubung dengan data akuisisi sebelumnya disambung terlebih dahulu dengan kabel audio. Kabel audio yang digunakan adalah jenis kabel berkulitas tinggi yang biasa digunakan pada perangkat komputer, tujuannya adalah untuk meminimalkan *noise* atau gangguan sinyal yang kemungkinan dapat terjadi.

Pada tiap sambungan diperkuat dengan melakukan penyolderan dan kontak kabel audio ke data akuisisi ditambahkan pelat tembaga untuk memastikan rigiditas yang baik karna bagian ini sering dilakukan bongkar pasang.

Selain itu termokopel diberi label untuk menghindari tertukarnya termokopel dengan *channel* lain ketika selesai dilakukan kalibrasi.



**Gambar 4.2** Termokopel yang telah disambung

Untuk menjamin keakuratan data, termokopel perlu diletakan pada posisi yang tepat, peletakan termokopel yang salah akan menyebabkan data yang dihasilkan menjadi tidak valid. Berikut ini dijelaskan mengenai posisi dan gambar peletakan termokopel pada pengujian *blood carrier*.

1. Ambient (*Channel 0*)

Untuk mengukur suhu ruangan unit *blood carrier* berada maka sebuah termokopel diletakan pada *acrylic case*. Ujung sensor diletakan mengambang dan tidak bersentuhan dengan permukaan apapun.



**Gambar 4.3** Posisi termokopel ambient

Termokopel ini nantinya akan menghasilkan dua macam data yaitu suhu ruangan pada saat pengujian konvensional dan suhu *refrigerator* / lemari pendingin pada pengujian dengan sistem pendinginan bertingkat.

2. *Cold Sink (Channel 1)*

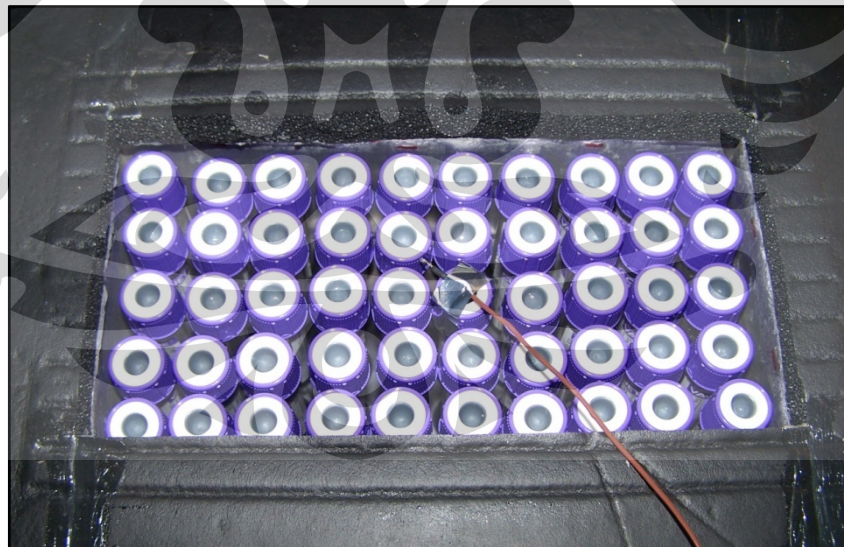
Termokopel untuk bagian ini pada ujung sensornya direkatkan dengan bantuan perekat plastik untuk memastikan ujung sensor melekat dengan kuat.



**Gambar 4.4** Posisi termokopel *Cold Sink*

3. *Cabin (Channel 2)*

Untuk pengukuran suhu ruangan *cabin* dari *blood carrier* ujung sensor termokopel diletakan mengambang dan direkatkan dengan perekat plastik pada bagian atas tube.

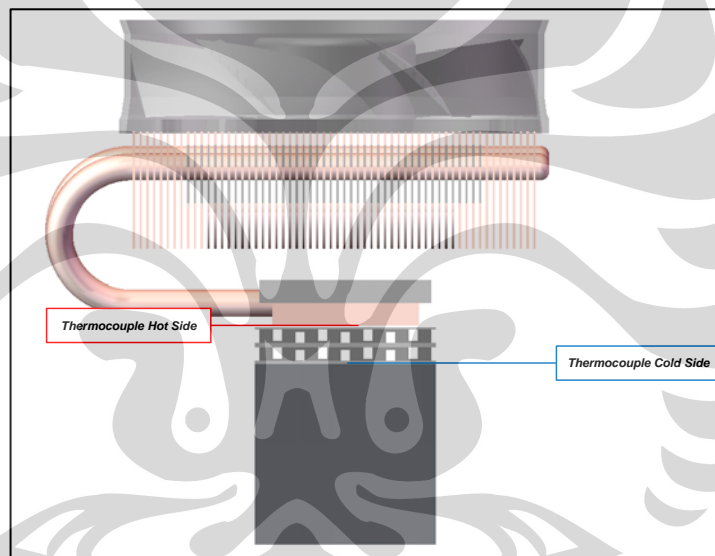


**Gambar 4.5** Posisi termokopel *cabin*

4. Termokopel Peltier (*Channel 3, 4, 5, dan 6*)

Untuk keempat termokopel diatas, digunakan termokopel khusus berbentuk benang dengan diameter 0,02 mm yang diletakan seperti pada gambar 4.6. Karna *blood carrier* menggunakan dua sistem pendingin peltier maka diperlukan empat buah termokopel untuk tiap permukaan sisi panas dan dingin, yang masing-masing diletakan pada :

- Termokopel untuk Peltier 2 Sisi Panas (*Channel 3*)
- Termokopel untuk Peltier 2 Sisi Dingin (*Channel 4*)
- Termokopel untuk Peltier 1 Sisi Panas (*Channel 5*)
- Termokopel untuk Peltier 1 Sisi Dingin (*Channel 6*)

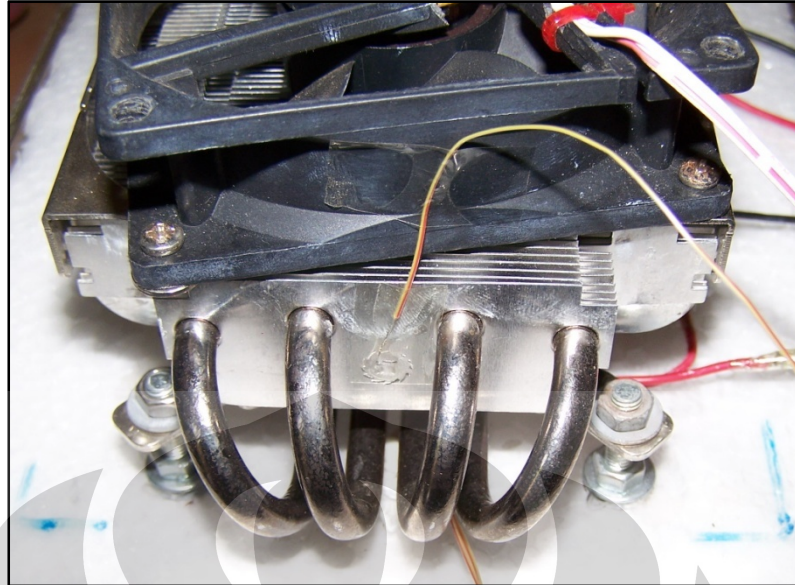


**Gambar 4.6** Posisi termokopel pada peltier

5. *Heatpipe* (*Channel 7*)

Sisa satu buah termokopel terakhir digunakan untuk mengukur suhu *fin* dari *heatsink-heatpipe*. Suhu yang didapat untuk mengetahui efektifitas penggunaan *heatsink-heatpipe* ketika alat dioperasikan secara konvensional dan dengan sistem pendinginan bertingkat.





**Gambar 4.7** Posisi termokopel pada *fin heatpipe*

#### 4.2.2 Data Akuisisi

Data akuisisi produksi *Advantech Data Acquisition Modules (ADAM)* digunakan untuk membaca termokopel tipe K yang digunakan. Alat ini harus digunakan berpasangan dengan modul *converter* nya.

Spesifikasinya data akuisisi yang digunakan adalah sebagai berikut :

<i>Modul Name</i>	: <i>ADAM 4018+</i>
<i>Converter Name</i>	: <i>ADAM 4520 (RS 232)</i>
<i>Input Range</i>	: <i>4 – 20 mA</i>
<i>Thermocouple Range</i>	: <i>J, K, I, E, R, S, B</i>
<i>Temperature Range</i>	: <i>Depend on Thermocouple</i>
<i>Channel Number</i>	: <i>8 (0 to 7)</i>
<i>Output to PC</i>	: <i>Serial RS 232</i>
<i>Max Baud Rate</i>	: <i>115200</i>
<i>Working Voltage</i>	: <i>12 to 24 Volt</i>



Gambar 4.8 Data Akuisisi

Data akuisisi ini menggunakan software sebagai *interface* yang dioperasikan dengan menggunakan sistem operasi Windows XP. Total digunakan dua buah software yaitu *Advantech Adam.NET Utility Ver 2.00.30* untuk kalibrasi dan *Advantech Visidaq* untuk pengambilan data.



Gambar 4.9 Tampilan visual Advantech Visidaq

Data keluaran *visidaq* adalah berupa file *notepad* yang bisa langsung terbaca berdasarkan *Channel* yang digunakan.

Time	27.509	29.177	28.347	28.541	28.481	28.074	29.256	29.004
0:00:00.00	27.509	29.177	28.347	28.541	28.481	28.074	29.256	29.004
0:00:01.00	27.300	29.078	28.347	28.440	28.578	27.977	29.256	28.903
0:00:02.15	27.300	29.078	28.347	28.440	28.481	27.977	29.164	28.903
0:00:03.00	27.509	29.177	28.450	28.440	28.578	27.977	29.256	28.903
0:00:04.00	27.404	29.177	28.347	28.440	28.578	28.074	29.256	29.105
0:00:05.00	27.195	29.078	28.245	28.440	28.481	27.977	29.164	28.903
0:00:06.00	27.509	29.177	28.347	28.440	28.481	27.879	29.256	29.004
0:00:07.00	27.404	29.177	28.347	31.167	31.470	25.734	29.256	27.085
0:00:08.00	27.404	29.177	28.347	33.288	33.398	24.467	29.256	25.671
0:00:09.00	27.509	29.177	28.347	34.601	34.458	23.686	29.348	24.964
0:00:10.00	27.300	29.177	28.347	35.410	36.747	25.589	29.441	24.459
0:00:11.00	27.091	29.177	28.347	36.015	35.422	23.199	29.625	24.257
0:00:12.00	27.195	29.078	28.347	36.621	35.904	22.809	29.810	23.954
0:00:13.00	27.300	29.078	28.450	37.126	36.193	22.614	29.810	23.752
0:00:14.00	27.195	29.078	28.347	37.631	36.483	22.419	30.087	23.550
0:00:15.00	27.195	28.979	28.347	38.035	36.675	22.419	30.271	23.348
0:00:16.00	27.091	28.879	28.347	38.439	36.772	22.224	30.271	23.146
0:00:17.40	27.300	28.879	28.347	38.742	37.254	22.127	30.641	23.045
0:00:18.00	27.404	28.879	28.347	39.045	37.254	22.127	30.733	23.045
0:00:19.00	27.300	28.780	28.347	39.247	37.543	22.029	30.917	22.843
0:00:20.00	27.509	28.780	28.245	39.651	37.736	22.029	31.102	22.742
0:00:21.00	27.509	28.681	28.347	39.954	37.929	21.931	31.194	22.742
0:00:22.00	27.613	28.681	28.347	40.156	38.025	21.834	31.287	22.641
0:00:23.00	27.613	28.681	28.347	40.358	38.218	21.931	31.379	22.540
0:00:24.00	27.509	28.483	28.347	40.459	38.314	21.639	31.379	22.540
0:00:25.00	27.613	28.483	28.245	40.661	38.507	21.639	31.564	22.439
0:00:26.00	27.613	28.483	28.347	40.964	38.603	21.639	31.656	22.439
0:00:27.00	27.300	28.284	28.245	41.065	38.796	21.639	31.564	22.439
0:00:28.00	27.509	28.185	28.245	41.166	38.893	21.542	31.748	22.338
0:00:29.00	27.509	28.185	28.347	41.267	38.989	21.542	31.840	22.237
0:00:30.00	27.404	28.185	28.245	41.469	39.085	21.542	32.117	22.136
0:00:31.00	27.404	28.086	28.245	41.671	39.182	21.444	32.117	22.136
0:00:32.00	27.509	28.086	28.245	41.772	39.278	21.347	32.117	22.136
0:00:33.00	27.404	27.987	28.245	41.974	39.471	21.542	32.210	22.136
0:00:34.00	27.300	27.887	28.245	42.075	39.471	21.444	32.302	22.035
0:00:35.00	27.195	27.689	28.245	42.176	39.567	21.249	32.302	22.035
0:00:36.00	27.300	27.687	28.245	42.378	39.567	21.347	32.394	22.035
0:00:37.00	27.195	27.590	28.245	42.479	39.664	21.249	32.487	22.035
0:00:38.00	27.509	27.590	28.143	42.580	39.760	21.249	32.487	21.833
0:00:39.00	27.404	27.590	28.245	42.782	39.857	21.249	32.671	21.833
0:00:40.00	27.613	27.491	28.347	42.782	39.857	21.249	32.764	21.833
0:00:41.00	27.613	27.491	28.245	42.984	39.953	21.152	32.764	21.833
0:00:42.00	27.927	27.391	28.347	42.984	40.146	21.054	32.671	21.833
0:00:43.00	27.927	27.391	28.347	43.085	40.146	21.054	32.948	21.833
0:00:44.00	27.927	27.292	28.245	43.287	40.242	21.054	32.948	21.732
0:00:45.00	27.927	27.292	28.245	43.289	40.339	20.956	32.856	21.732
0:00:46.00	28.031	27.193	28.347	43.388	40.339	20.956	33.040	21.732
0:00:47.00	27.822	27.193	28.347	43.489	40.435	20.956	32.948	21.732
0:00:48.00	27.822	26.995	28.245	43.489	40.435	20.956	33.040	21.530
0:00:49.00	27.927	27.094	28.347	43.691	40.435	20.859	33.040	21.530
0:00:50.00	27.613	26.995	28.347	43.792	40.531	20.664	33.040	21.530

Gambar 4.10 Output data Advantech Visidaq

### 4.2.3 DC Power Supply

Sebagai sumber tenaga untuk Peltier, kipas dan data akuisisi maka digunakan sebuah power supply dan adaptor, keduanya menghasilkan tegangan 12 Volt DC masing-masing dengan daya yang berbeda.

Spesifikasi Adaptor :

<i>Brand</i>	: Hinohikari
<i>Input Voltage</i>	: 220 V 50 Hz
<i>Output Voltage</i>	: 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5, 9, 12 V DC
<i>Max Ampere</i>	: 1000 mA
<i>Polarity</i>	: Dual select

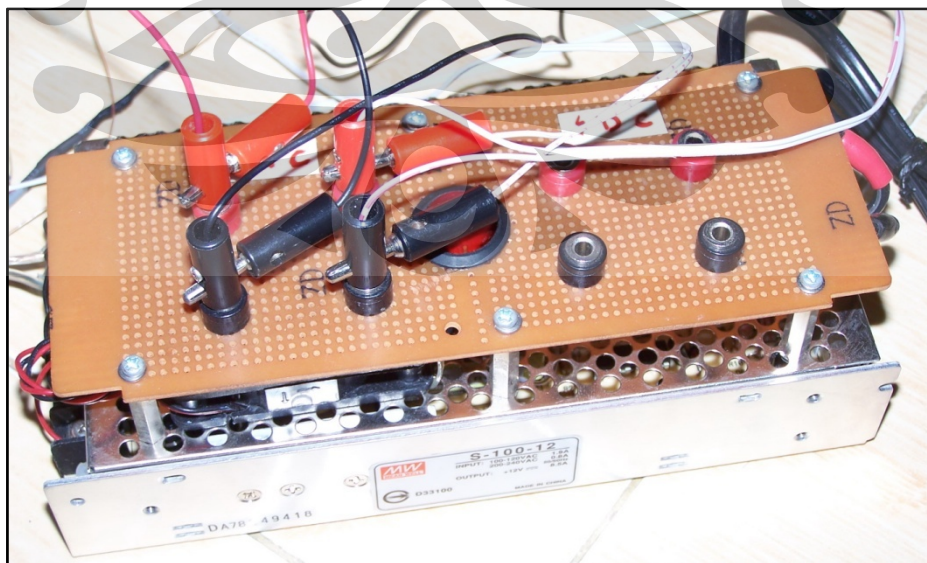




**Gambar 4.11** Adaptor DC

Spesifikasi Power Supply :

<i>Brand</i>	: MW (Mean Well)
<i>Input Range</i>	: 100 – 12- VAC at 1,9 A 200 – 240 VAC at 0,8 A
<i>Output Max</i>	: 12 VDC at 8,5 A
<i>Variable Voltage</i>	: Present



**Gambar 4.12** Power Supply DC

#### 4.2.4 Refrigerator / Lemari Pendingin

Untuk mensimulasikan sistem pendinginan bertingkat maka digunakan sebuah lemari pendingin yang telah dinyalakan selama 24 jam tanpa beban agar diperoleh suhu konstan.

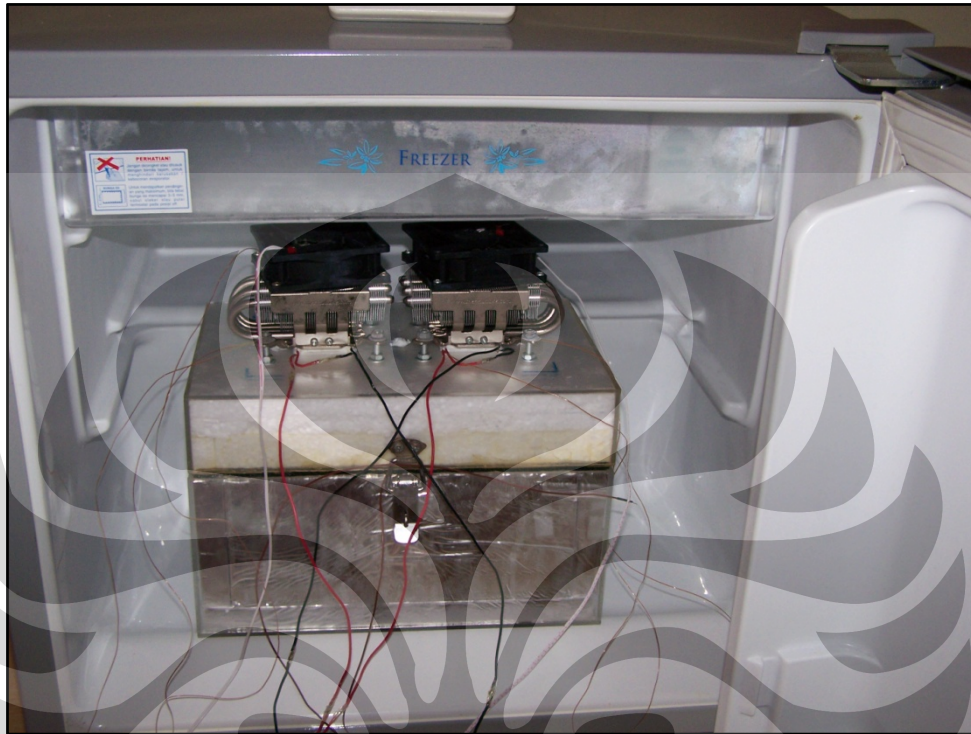


Gambar 4.13 Lemari pendingin

Spesifikasi Lemari pendingin yang digunakan :

- Brand* : Toshiba
- Input Range* : 220 VAC 50 Hz
- Refrigerant* : R-134a
- Power* : 45 watt

Cara pengambilan data dengan melibatkan lemari pendingin yaitu dengan memasukan *blood carrier* kedalam lemari pendingin secara keseluruhan. Seperti pada gambar 4.14 berikut ini.



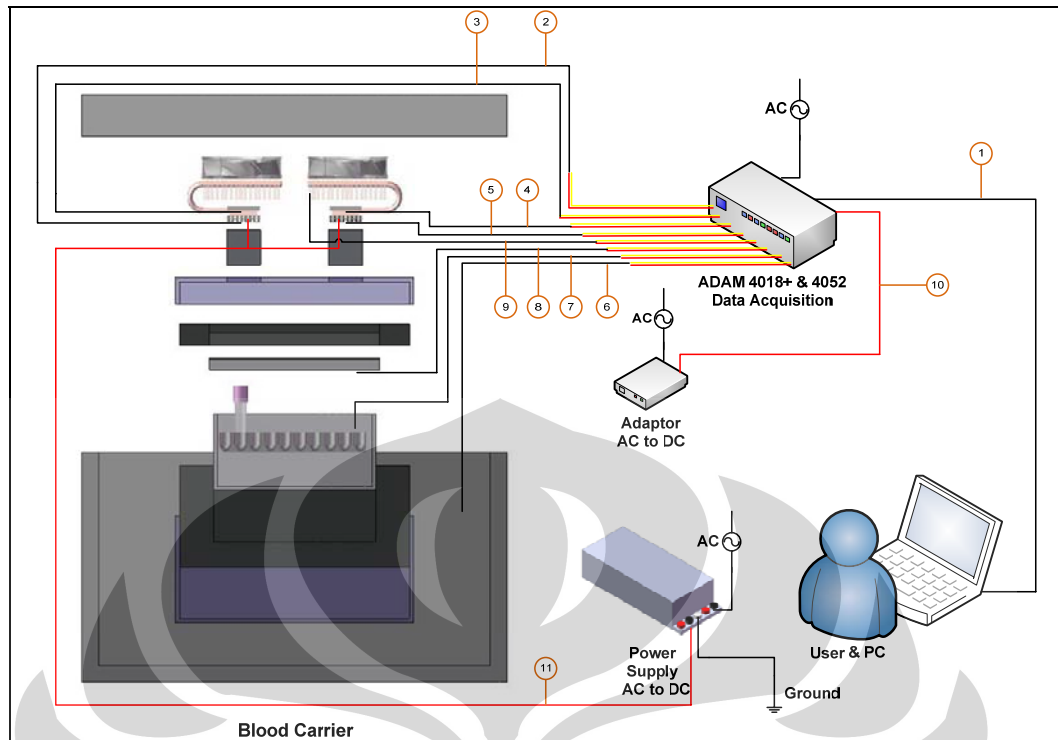
**Gambar 4.14** *Blood carrier* yang dimasukan kedalam lemari pendingin

Pada prakteknya setelah *blood carrier* dimasukan, suhu operasi lemari pendingin yaitu berada pada rentang 8 hingga 18 °C, tergantung dari suhu ruangan tempat lemari pendingin berada.

### 4.3 INSTALASI PENGUJIAN

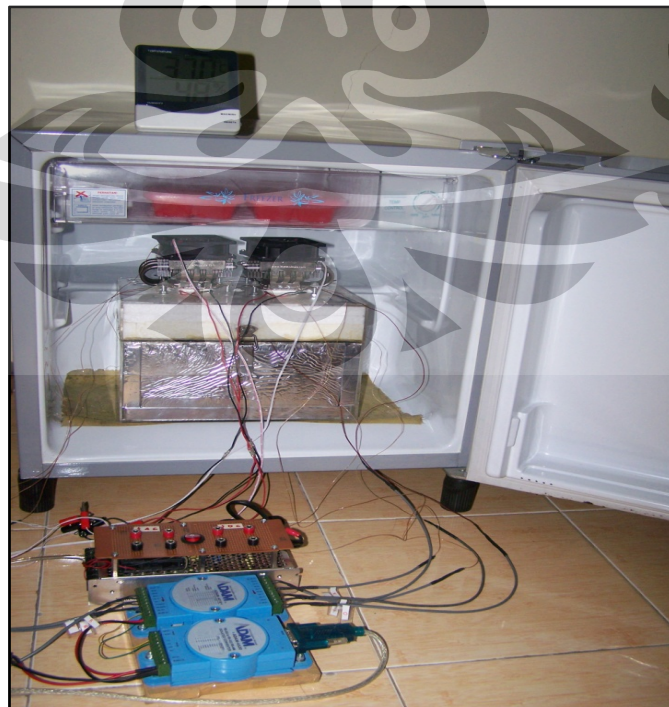
Semua alat yang telah dijelaskan sebelumnya disusun menurut skema pada gambar 4.15 dan 4.16





1. Jalur data DAQ ke PC (RS232)
2. Termokopel P1 Cold
3. Termokopel P1 Hot
4. Termokopel P2 Hot
5. Termokopel P2 Cold
6. Termokopel lemari pendingin/*ambient*
7. Termokopel *cabin*
8. Termokopel *cold sink*
9. Termokopel *heatsink-heatpipe*
10. Kabel daya untuk DAQ
11. Kabel daya untuk peltier

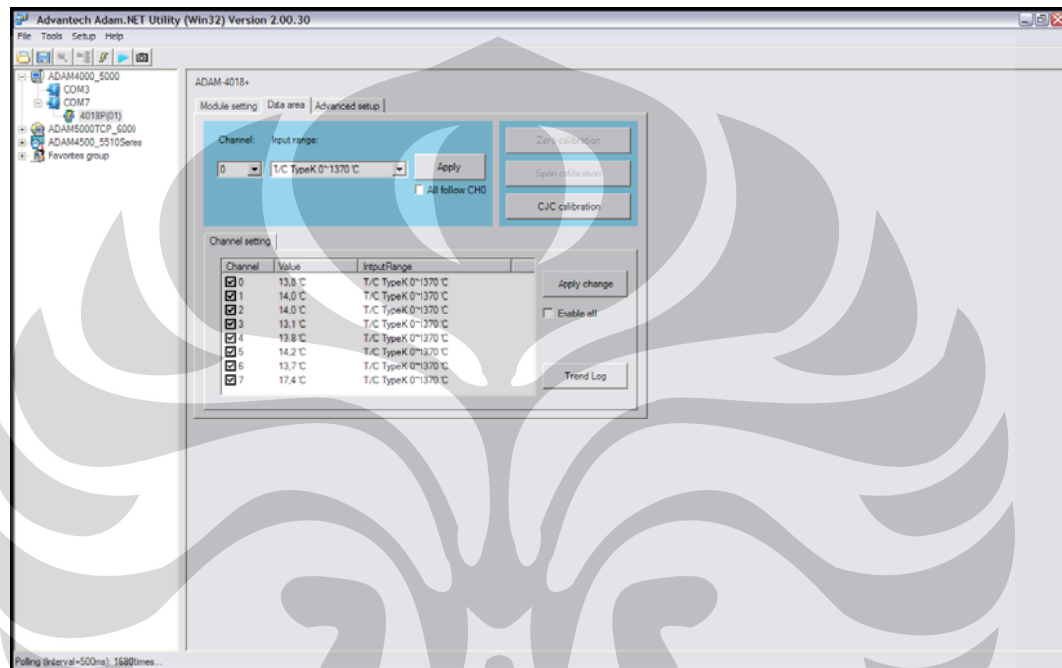
Gambar 4.15 Skema instalasi pengujian alat



Gambar 4.16 Foto instalasi pengujian alat

#### 4.4 PROSEDUR KALIBRASI

Pada dasarnya output yang keluar dari parameter pengukuran temperatur dengan menggunakan termokopel adalah tegangan listrik, akan tetapi melalui interface software yang telah disediakan oleh produsen data akuisisi, kita dapat melihat output yang dihasilkan sudah berupa suhu seperti gambar 4.16.



Gambar 4.17 Interface Adam.net Utility

Namun tetap saja nilai yang tertera bukan merupakan nilai suhu yang benar ketika dibandingkan dengan termometer raksa sebagai sumber alat ukur yang valid.

Oleh karenanya perlu dilakukan kalibrasi agar nilai yang terbaca mendekati nilai kebenaran dari parameter yang kita ukur.

Prosedur kalibrasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

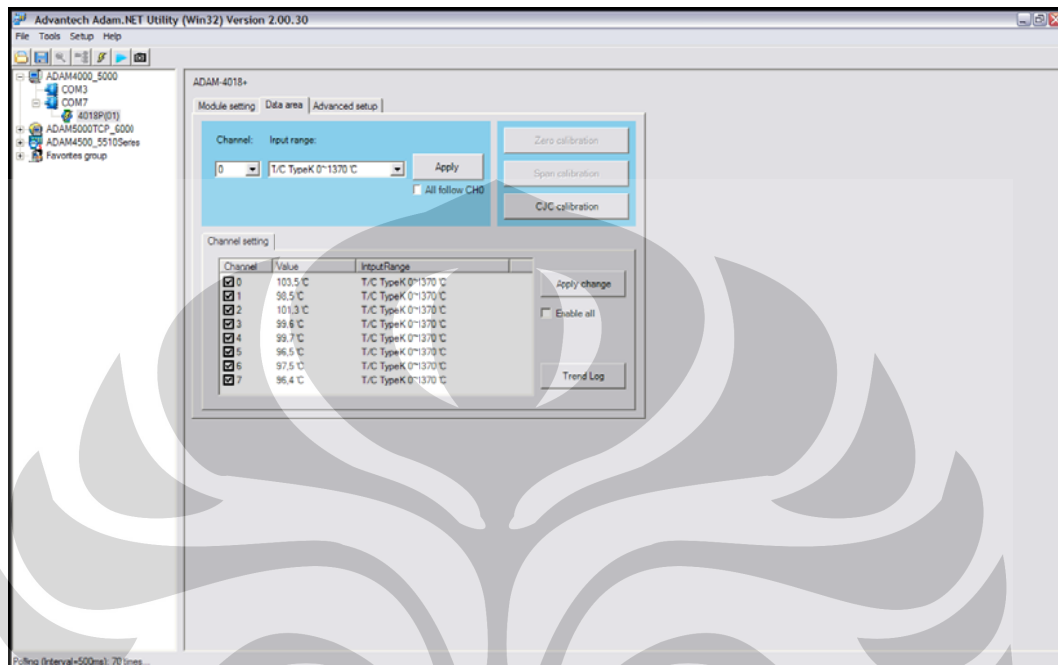
1. Siapkan perlengkapan dan peralatan yang akan digunakan
 

Beberapa peralatan yang dibutuhkan agar proses kalibrasi dapat dilakukan, antara lain adalah :

  - a. Bejana tahan panas atau panci sebagai wadah untuk air.
  - b. *Heater* atau kompor listrik yang digunakan sebagai elemen pemanas air.

- c. Termometer raksa yang sebelumnya telah disertifikasi atau diakui sebagai sumber kalibrasi di laboratorium heat transfer. Dalam kalibrasi yang kami lakukan, digunakan dua termometer yaitu termometer dengan kisaran temperatur 0 – 50 °C dan 50 – 100 °C.
  - d. Seperangkat *Personal Computer (PC)* dan data akuisisi lengkap dengan software pendukungnya. Data akuisisi yang digunakan adalah ADAM 4018+ dipasangkan dengan *converter ADAM 4520* dan menggunakan software *Advantech Adam.NET Utility Ver 2.00.30* yang dioperasikan dibawah windows *XP service pack 3*. Selain itu juga digunakan kabel penghubung *USB to RS232* unuk komunikasi ke PC.
  - e. Termokopel tipe K diameter 0,02 mm dan 1 mm sejumlah yang dibutuhkan, karna dalam pengujian dibutuhkan 8 titik data maka dibutuhkan 8 buah termokopel yang terdiri dari 6 buah dengan diameter 0,02 mm dan 2 buah dengan diameter 1 mm masing-masing dengan panjang rata-rata 300 mm.
  - f. Beberapa balok es batu untuk menurunkan suhu air apabila telah mendekati suhu ruangan.
  - g. Pita perekat untuk merekatkan ujung termokopel kedinding bejana atau panci.
2. Pasang termokopel pada masing-masing *channel* pada data akuisisi, dan hubungkan dengan PC. Karna yang digunnakan adalah termokopel benang pastikan pemasangannya telah benar, periksa juga kutub-kutubnya agar tidak terbalik.
  3. Ambil bejana dan rekatkan ujung sensor termokopel pada dindingnya, isi dengan air secukupnya, dan pastikan ujung sensor selalu terendam air.
  4. Panaskan air dengan elemen pemanas hingga mendidih, masukan juga termometer raksa dengan rentang 50 – 100 °C dan pastikan air berada pada suhu maksimumnya sebelum pengambilan data dimulai.
  5. Beralih ke PC, jalankan program software *Advantech Adam.NET Utility Devices ADAM* yang digunakan akan muncul dibawah nomor *port* yang digunakan oleh data akuisisi tersebut dengan sebelumnya mengklik kanan nomor *port* nya dan pilih *search*.

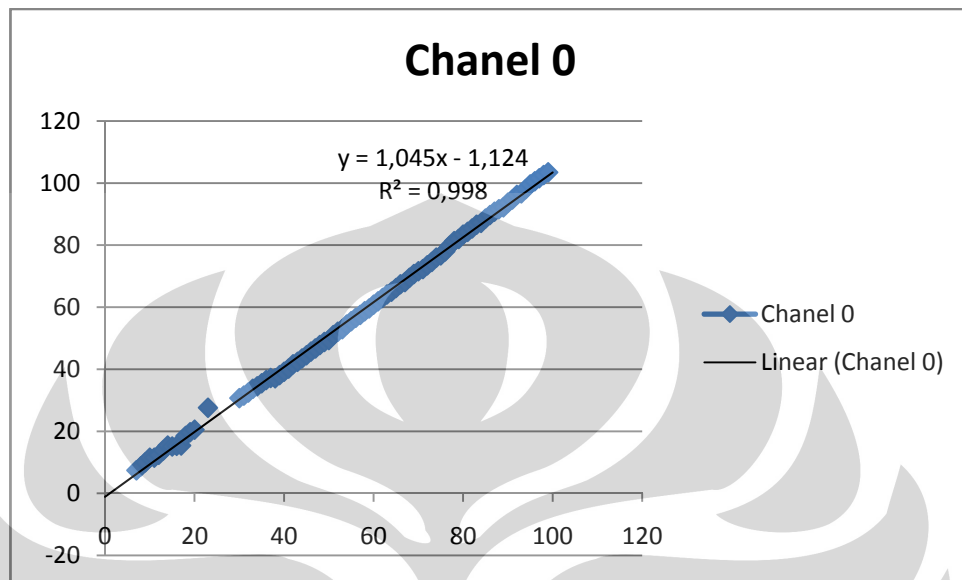
6. Setelah itu masuk ke *tab data area* seperti ditunjukkan pada gambar 4.18, dibawah kolom *channel setting* disana akan diperlihatkan suhu setiap *channel* dari data akuisisi.



Gambar 4.18 Nilai pembacaan termokopel pada suhu 99 °C

- Nilai hasil pembacaan data akuisisi yang tertera disana bukan merupakan nilai yang sebenarnya, nilai yang sebenarnya adalah pada termometer raksa.
7. Simpan nilai yang tertera dengan menekan tombol kamera dan beri nama *file* nya dengan nilai suhu yang tertera pada termometer raksa.
  8. Matikan elemen pemanas, suhu akan berangsur-angsur turun. Setiap penurunan 1 °C lakukan *save*. Lakukan terus sampai suhu air mendekati suhu ruangan.
  9. Setelah suhu air mendekati suhu ruangan, penurunan suhu menjadi relatif lama, segera masukan es batu sedikit demi sedikit hingga termometer raksa menunjukkan penurunan suhu, gunakan termometer dengan kisaran 0 – 50 °C. Kembali *save* dengan cara yang sama. Pada prakteknya kami melakukan kalibrasi sampai dengan suhu 7 °C.
  10. Selanjutnya susun data-data suhu yang telah didapat dengan menggunakan software *microsoft excel*.

11. Buat grafiknya, nanti akan diperoleh sebuah persamaan garis *trend* dengan persamaan umum  $y = ax + b$ . Syarat dari persamaan ini adalah deviasinya harus sesuai dengan  $R^2 > 0,9$ . Sebuah contoh diberikan pada grafik 4.1.



Grafik 4.1 Contoh grafik *trend line* dari *channel 0*

12. Dari kalibrasi akan didapat total 8 persamaan sesuai dengan jumlah termokopel yang digunakan. Pada kalibrasi yang dilakukan persamaan tersebut adalah :

$$\text{Channel 0} \quad : y = 1,045x - 1,124 \quad R^2 = 0,998$$

$$\text{Channel 1} \quad : y = 0,992x + 0,409 \quad R^2 = 0,999$$

$$\text{Channel 2} \quad : y = 1,022x - 0,984 \quad R^2 = 0,998$$

$$\text{Channel 3} \quad : y = 1,010x - 0,446 \quad R^2 = 0,999$$

$$\text{Channel 4} \quad : y = 1,010x - 0,185 \quad R^2 = 0,999$$

$$\text{Channel 5} \quad : y = 0,964x + 0,911 \quad R^2 = 0,999$$

$$\text{Channel 6} \quad : y = 0,975x - 0,006 \quad R^2 = 0,997$$

$$\text{Channel 7} \quad : y = 0,923x + 2,766 \quad R^2 = 0,994$$

Nilai  $R^2$  diatas sudah cukup untuk menjamin bahwa persamaan yang didapat cukup valid sebagai persamaan termokopel.

13. Selanjutnya persamaan yang didapat bisa digunakan pada software *VisiDAQ* sehingga suhu yang didapat sudah merupakan suhu yang valid..



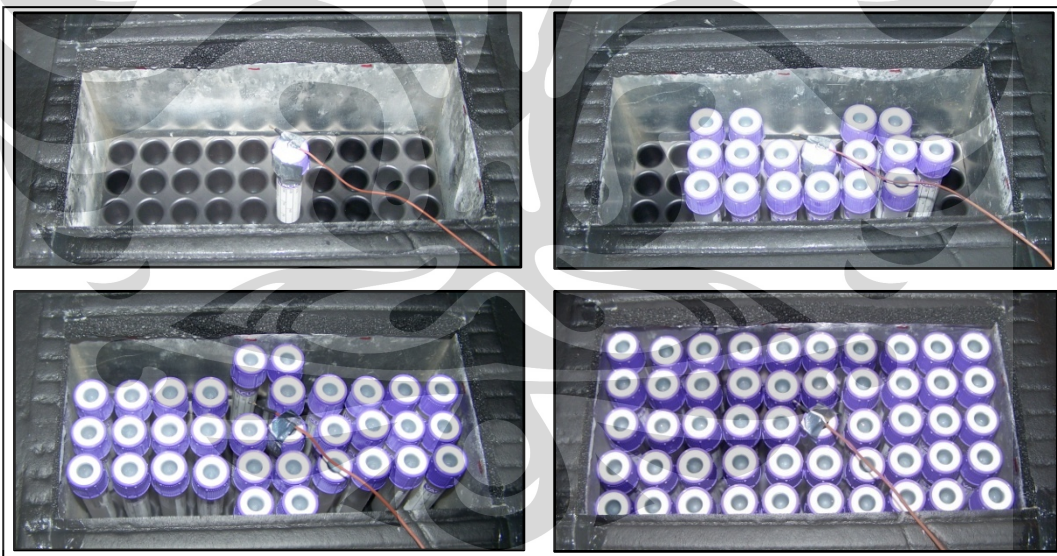
#### 4.5 VARIASI PENGAMBILAN DATA

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dilaboratorium Heat Transfer lantai 3 Departemen Teknik Mesin FTUI. Pengambilan data tersebut meliputi :

- Pengambilan data dengan beban yang bervariasi yaitu 150 mL, 100 mL, 50 mL dan 0 mL (tanpa beban).
- Kombinasi variasi beban dengan konvensional maupun dengan sistem pendinginan bertingkat.

Pendinginan konvensional yaitu udara yang digunakan oleh *heatsink-heatpipe* berasal dari suhu ruangan, dan untuk pendinginan bertingkat udara yang digunakan untuk mendinginkan berasal dari lemari pendingin

Berikut diperlihatkan beberapa foto sebelum *blood carrier* diuji dengan beberapa variasi beban.



**Gambar 4.19** Variasi beban pendinginan 0 mL, 50 mL, 100 mL, dan 150 mL

## **BAB V**

### **HASIL DAN ANALISA**

#### **5.1 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN**

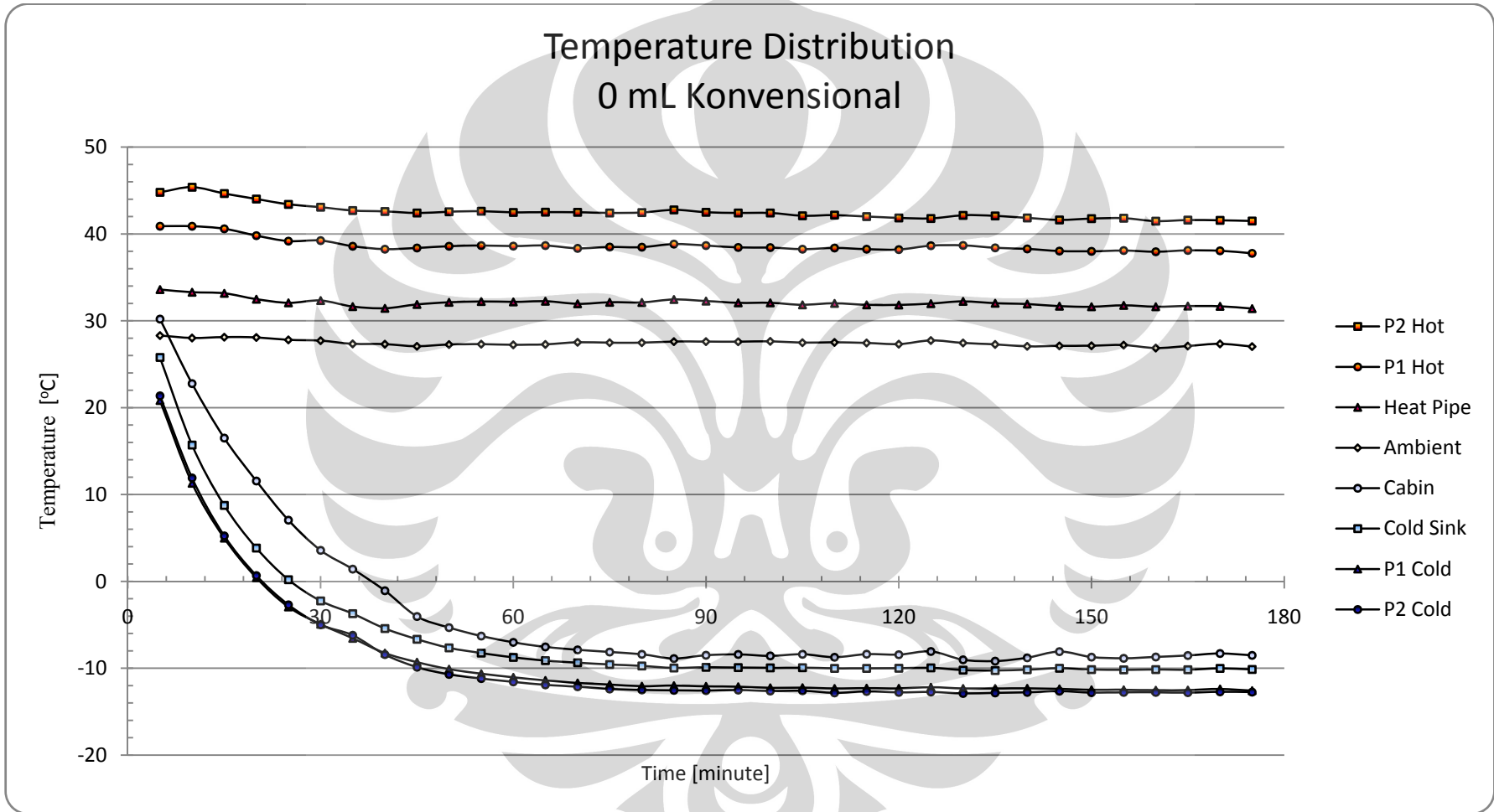
Berikut adalah data-data dan analisa hasil pengujian *thermoelectric blood carrier* yang dilengkapi *heatsink-heatpipe* baik dengan cara konvensional maupun dengan sistem pendinginan bertingkat. Penyajian data yang diperoleh akan digambarkan dalam grafik berupa penurunan temperatur terhadap waktu pendinginan.

*Blood carrier* selalu difungsikan dengan *setting* yang tetap ketika dilakukan pengambilan data, peltier dan kipas selalu dioperasikan dengan tegangan tetap yaitu 12 volt. Variasi pengujian hanya dilakukan pada beban berupa air yaitu 0 mL, 50 mL, 100 mL, dan 150 mL baik dengan teknik pendinginan konvensional maupun dengan pendinginan bertingkat. Sebelumnya tube juga telah dilakukan proses vakum untuk mensimulasikan keadaan sesungguhnya

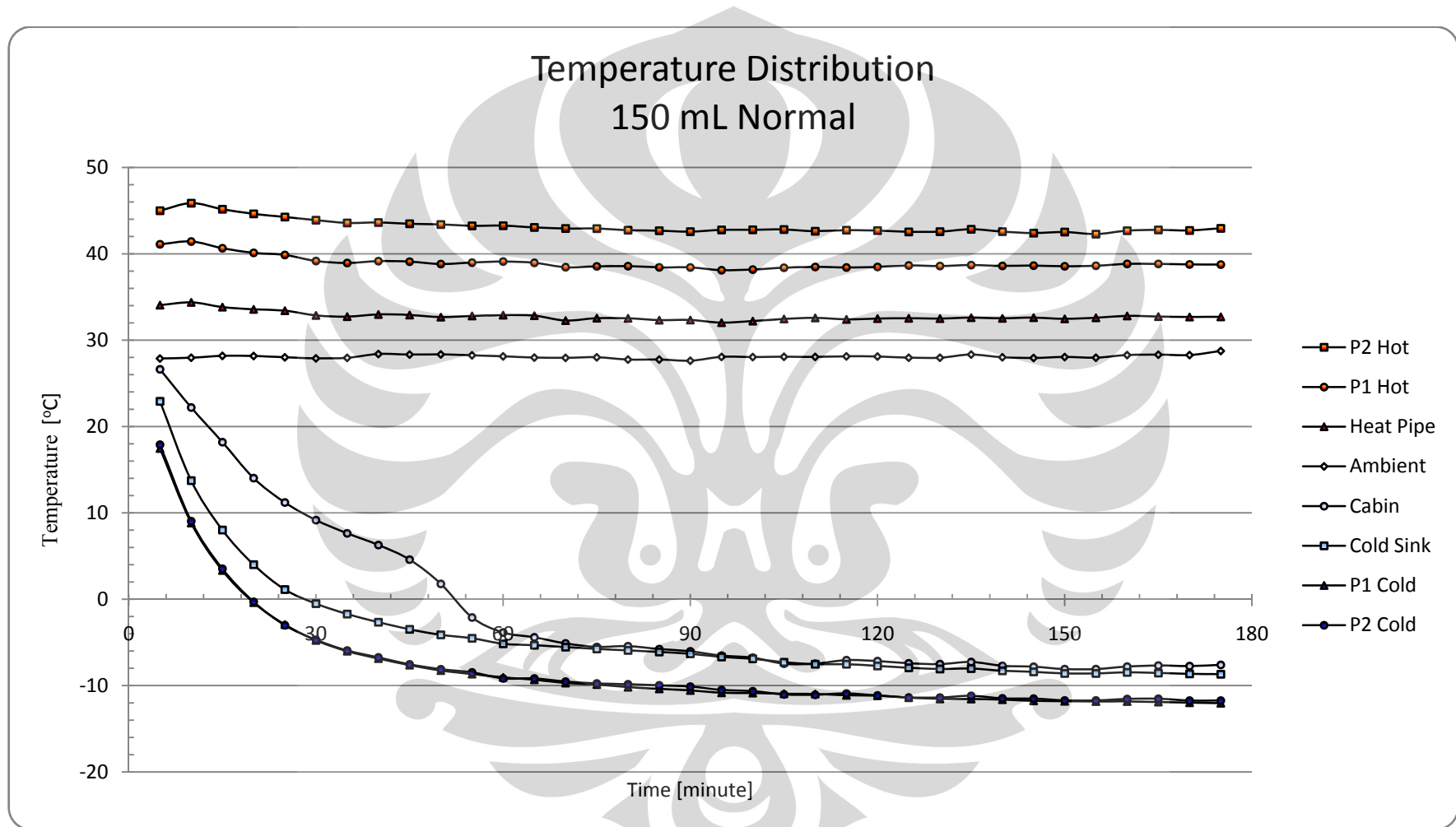
Lamanya pengambilan pada saat pengujian adalah 3,5 jam. Data akuisisi menghasilkan data mentah setiap 1 detik, lalu data dirata-ratakan menjadi per 5 menit dengan software *microsoft excel*. Karna suhu yang terekam relatif datar setelah 160 menit, maka agar lebih mudah untuk dianalisa data yang digunakan hanya sampai dengan 175 menit.

#### **5.2 ANALISA GRAFIK DISTRIBUSI TEMPERATUR**

Berikut ini diperlihatkan data temperatur dari berbagai titik pengujian baik dengan menggunakan teknik pendinginan konvensional maupun pendinginan bertingkat. Variasi beban yang digunakan adalah 0 mL (tanpa beban) dan 150 mL (beban maksimum).



**Grafik 5.1** Distribusi temperatur ketika tanpa beban dengan teknik pendinginan konvensional



**Grafik 5.2** Distribusi temperatur ketika beban maksimum dengan teknik pendinginan konvensional

Dari kedua grafik yang ditampilkan sebelumnya dapat kita lihat hampir semua titik pengujian memperlihatkan trend kenaikan dan penurunan temperatur yang hampir sama, pengecualian terjadi pada temperatur *cabin*. Pembebanan maksimum pada *blood carrier* menyebabkan penurunan suhu *cabin* relatif lebih lambat. Untuk mencapai suhu *cabin* sebesar 0 °C dengan beban maksimum dibutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan tanpa beban. Hal ini mulai tampak dari awal pengujian sampai dengan menit ke-55, setelah itu temperatur *cabin* cenderung datar mengikuti temperatur *cold sink* karna sebagian besar kalor telah diserap.

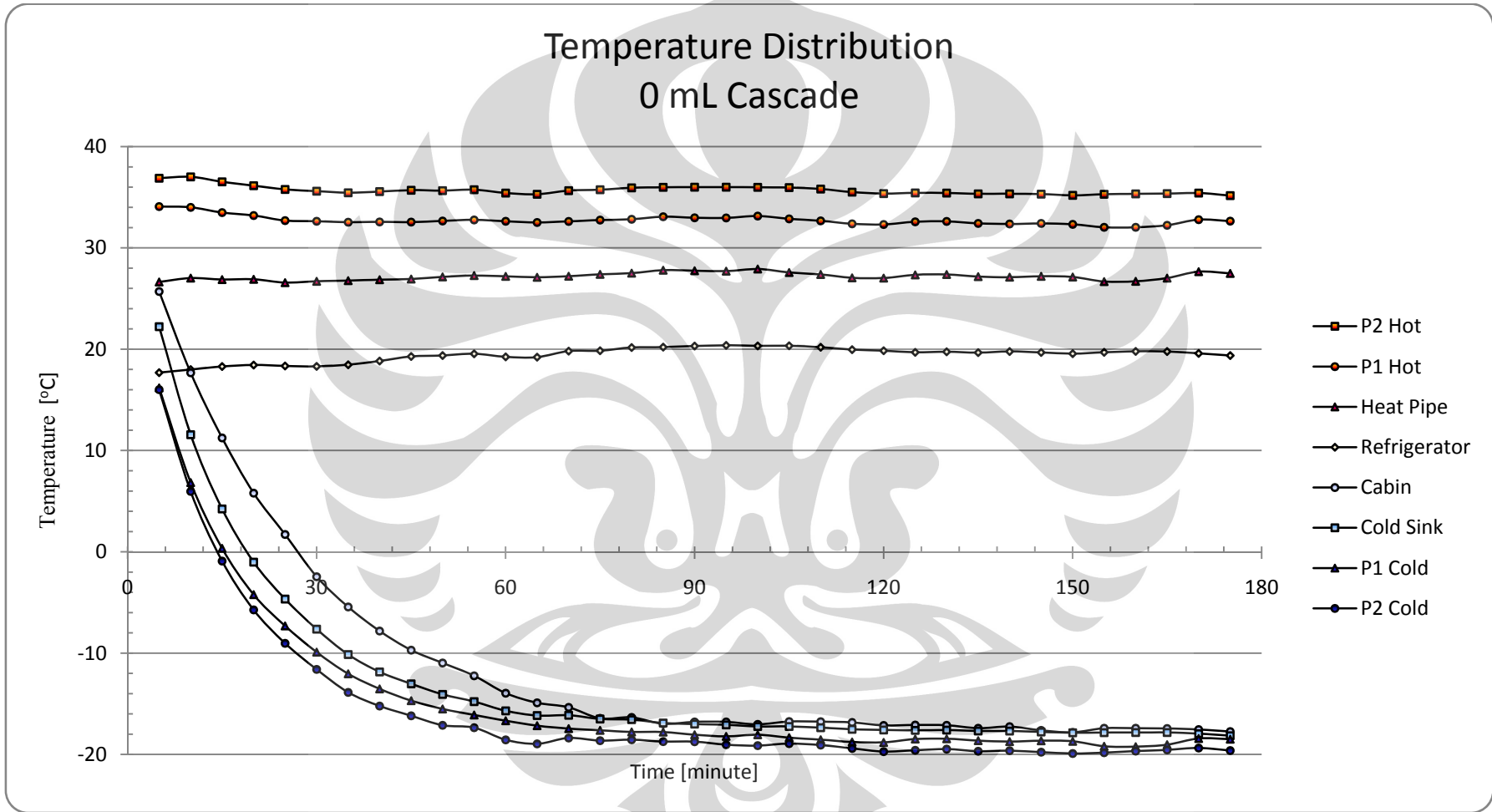
Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa pembebanan sangat berpengaruh terhadap kerja pendinginan yang dilakukan peltier. Penambahan beban berarti penambahan jumlah kalor yang harus diserap oleh sisi dingin peltier. Karna peltier bekerja dengan prinsip  $\Delta T$ , maka agar penurunan temperatur *cabin* dapat dipercepat lagi, perlu dilakukan upaya peningkatan kinerja peltier dengan cara menurunkan serendah-rendahnya temperatur pada sisi panasnya.

Kombinasi *heatsink-heatpipe* dengan teknik pendinginan konvensional hanya mampu menekan temperatur sisi panas peltier sampai dengan 42 °C dan temperatur kabin terendah adalah -9,2 °C.

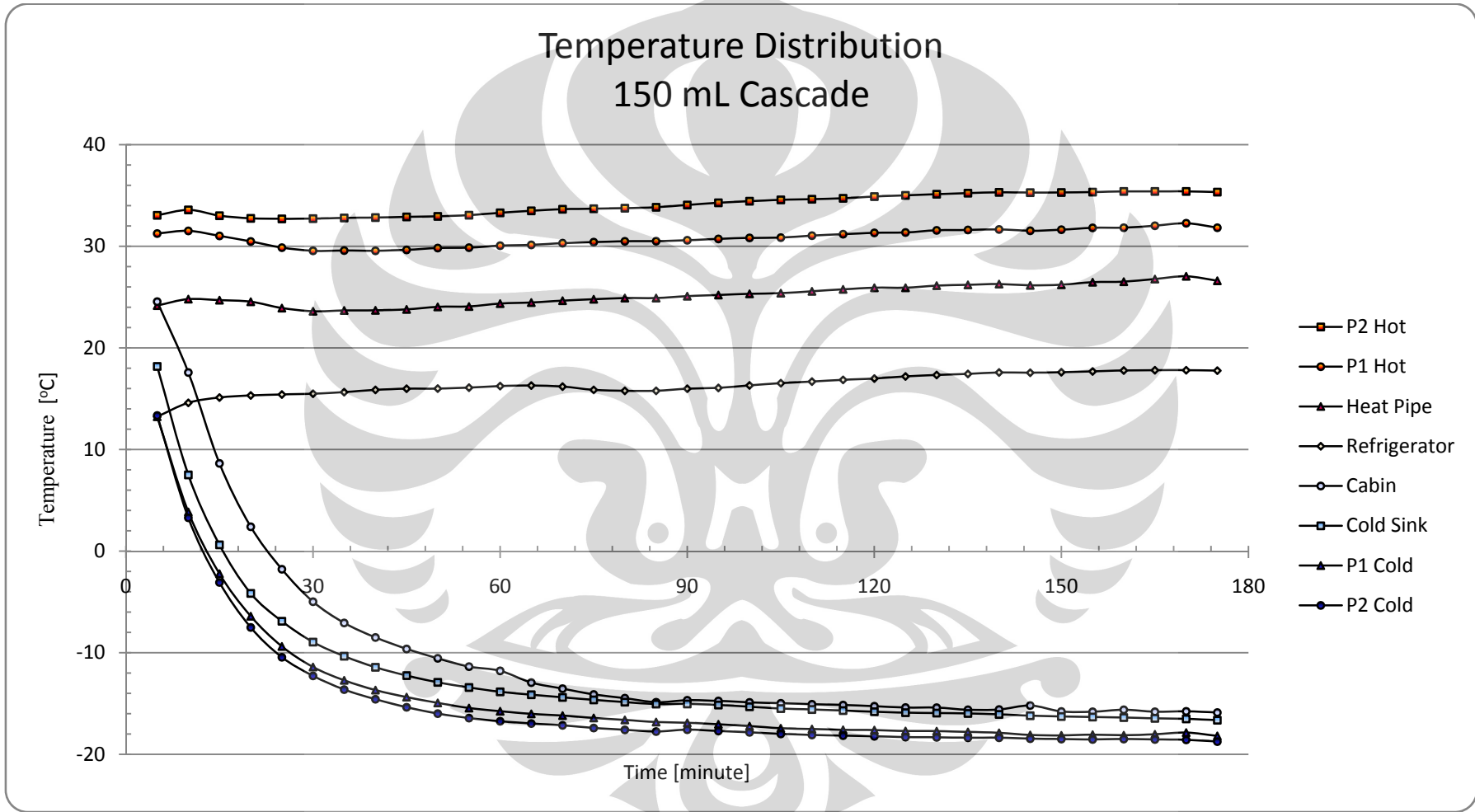
Mengapa “sistem pendinginan bertingkat?”. Seperti dijelaskan sebelumnya peltier bekerja dengan prinsip  $\Delta T$ , *heatsink-heatpipe* yang dilengkapi kipas pendingin tidak mampu lagi menekan temperatur sisi panas peltier karna kipas yang digunakan mengambil udara dari ruangan. Disini jelas bahwa sebesar apapun dimensi kipas yang digunakan atau sekencang apapun udara yang ditiupkan, tidak akan menurunkan temperatur *heatsink-heatpipe* lebih rendah dari suhu ruangan.

Dibutuhkan suatu pengkondisian udara agar udara disekitar *heatsink-heatpipe* yang digunakan oleh kipas untuk mendinginkan peltier dapat lebih rendah lagi. Sistem pendinginan bertingkat atau *cascade* adalah salah satu metoda yang dapat digunakan.

Berikut akan diperlihatkan grafik temperatur sistem pendinginan bertingkat dengan menggunakan beban yang sama.



Grafik 5.3 Distribusi temperatur ketika tanpa beban dengan teknik pendinginan bertingkat



**Grafik 5.4** Distribusi temperatur ketika beban maksimum dengan teknik pendinginan bertingkat

Manfaat penerapan sistem pendinginan bertingkat dapat kita lihat pada grafik 5.3 dan grafik 5.4.

Lemari pendingin digunakan sebagai sistem pengkondisian udara bagi *blood carrier*, lemari pendingin selain berfungsi sebagai pendingin udara bagi *heatsink-heatpipe* tetapi juga berfungsi sebagai isolasi dari udara luar atau ambient.

Disini terlihat keunggulan sistem pendinginan bertingkat dilihat dari laju penurunan suhu *cabin* dibandingkan dengan cara konvensional. Hanya dengan tempo kurang dari 25 menit, temperatur *cabin* dapat ditekan dibawah 0 °C dengan pembebanan maksimum 150 mL, kecepatan pendinginan ini tidak terpaat jauh apabila dibandingkan dengan tanpa pembebanan.

Temperatur lemari pendingin / *refrigerator* yang berkisar antara 10 – 20 °C, mampu menekan suhu *heatsink-heatpipe* maksimum 22 °C, hal ini akan berdampak langsung pada semakin rendahnya temperatur dari sisi panas peltier. Dari grafik tercatat temperatur sisi panas peltier dapat ditekan sampai dengan maksimum 38 °C.

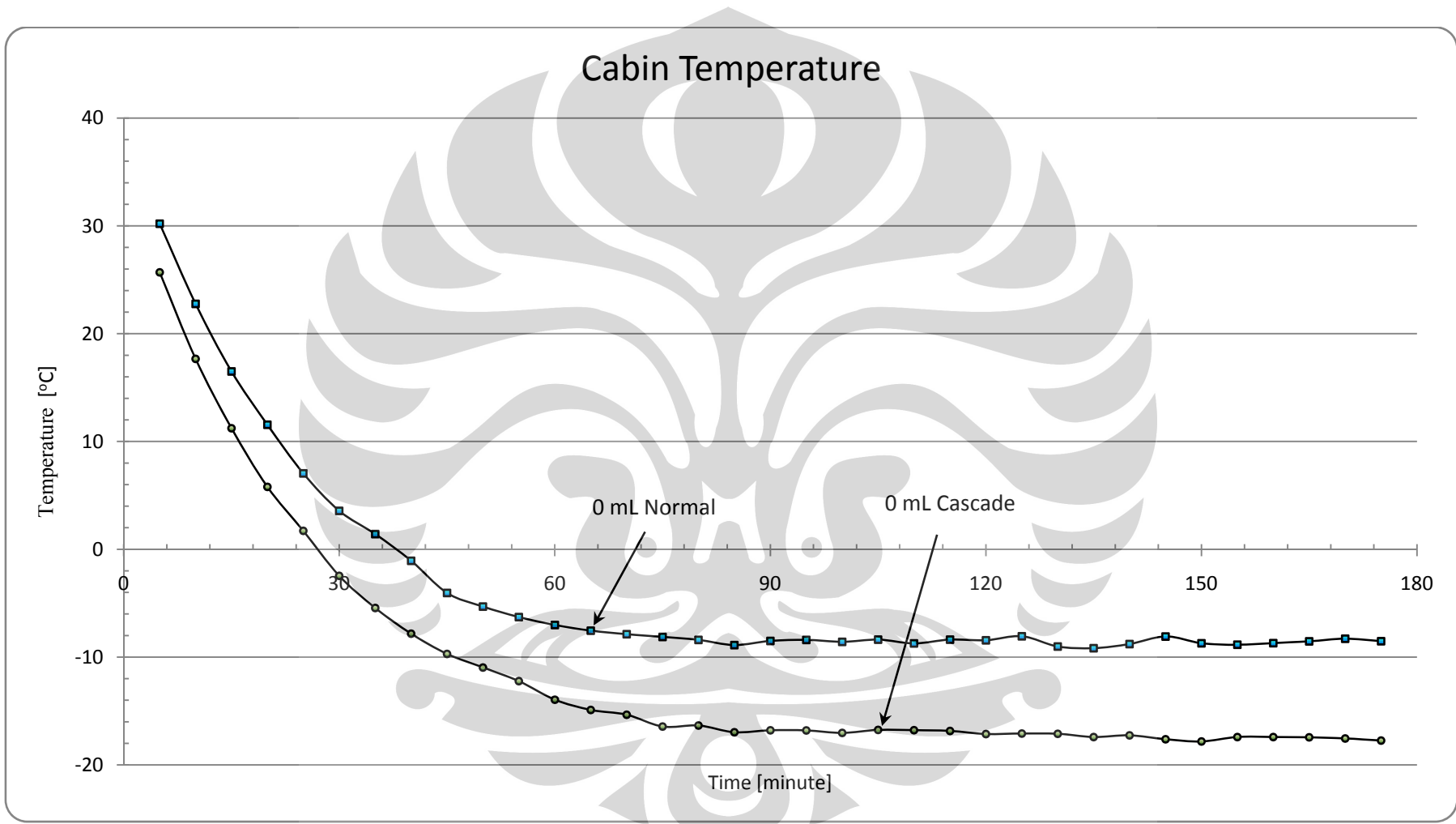
Bisa ditarik kesimpulan bahwa sistem pendinginan bertingkat memiliki unjuk kerja atau *performance* yang lebih baik ditinjau dari temperatur dan kecepatan pendinginan, dan juga membuktikan bahwa dengan semakin diturunkannya temperatur ambient bagi *heatsink-heatpipe* akan berdampak semakin turunnya temperatur sisi panas peltier.

### **5.3 ANALISA GRAFIK TEMPERATUR CABIN**

Untuk memperjelas pernyataan bahwa sistem pendinginan bertingkat memiliki unjuk kerja atau *performance* yang lebih baik dari sistem pendinginan konvensional, dapat dilihat dari grafik perbandingan temperatur *cabin* berikut ini.

Untuk mengetahui laju pendinginan tercepat dan temperatur maksimum terendah dari masing-masing teknik pendinginan maka dilakukan pengujian kosong tanpa beban pada masing-masing teknik baik konvensional maupun bertingkat.





**Grafik 5.5** Variasi temperatur *cabin* tanpa beban dengan sistem pendinginan konvensional dan bertingkat

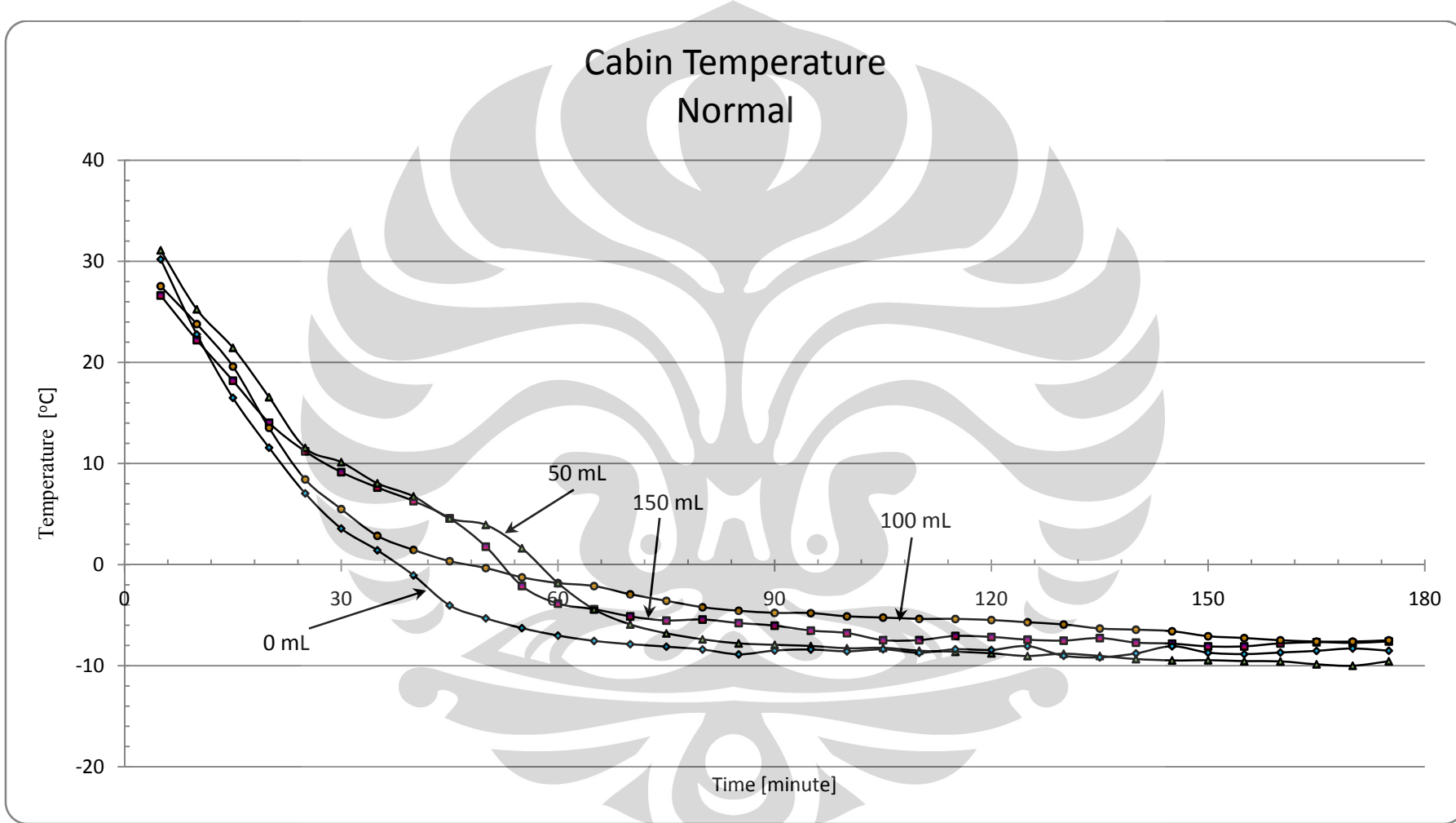
Dalam hal kecepatan pendinginan terlihat pada grafik 5.5, sistem pendinginan bertingkat lebih cepat sekitar 12 menit dari pada pendinginan dengan teknik konvensional untuk mencapai suhu  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hal ini disebabkan, *cold sink* (sebagai media penyerap kalor terbesar yang permukaannya memiliki kontak langsung dengan udara *cabin*) temperaturnya turun dengan sangat cepat akibat temperatur sisi dingin peltier yang sangat rendah. Disini penyerapan kalor dilakukan dengan akselerasi yang sangat tinggi, hal ini yang menyebabkan mengapa dengan sistem pendinginan bertingkat, dibebani ataupun tidak, akan menghasilkan laju pendinginan yang hampir sama. Seperti yang ditunjukkan pada grafik sebelumnya yaitu grafik 5.3 dan grafik 5.5.

Potensi sistem pendinginan bertingkat juga terlihat pada suhu minimum yang dapat dicapai yaitu  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada menit 150 dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional sebesar  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada menit 135.

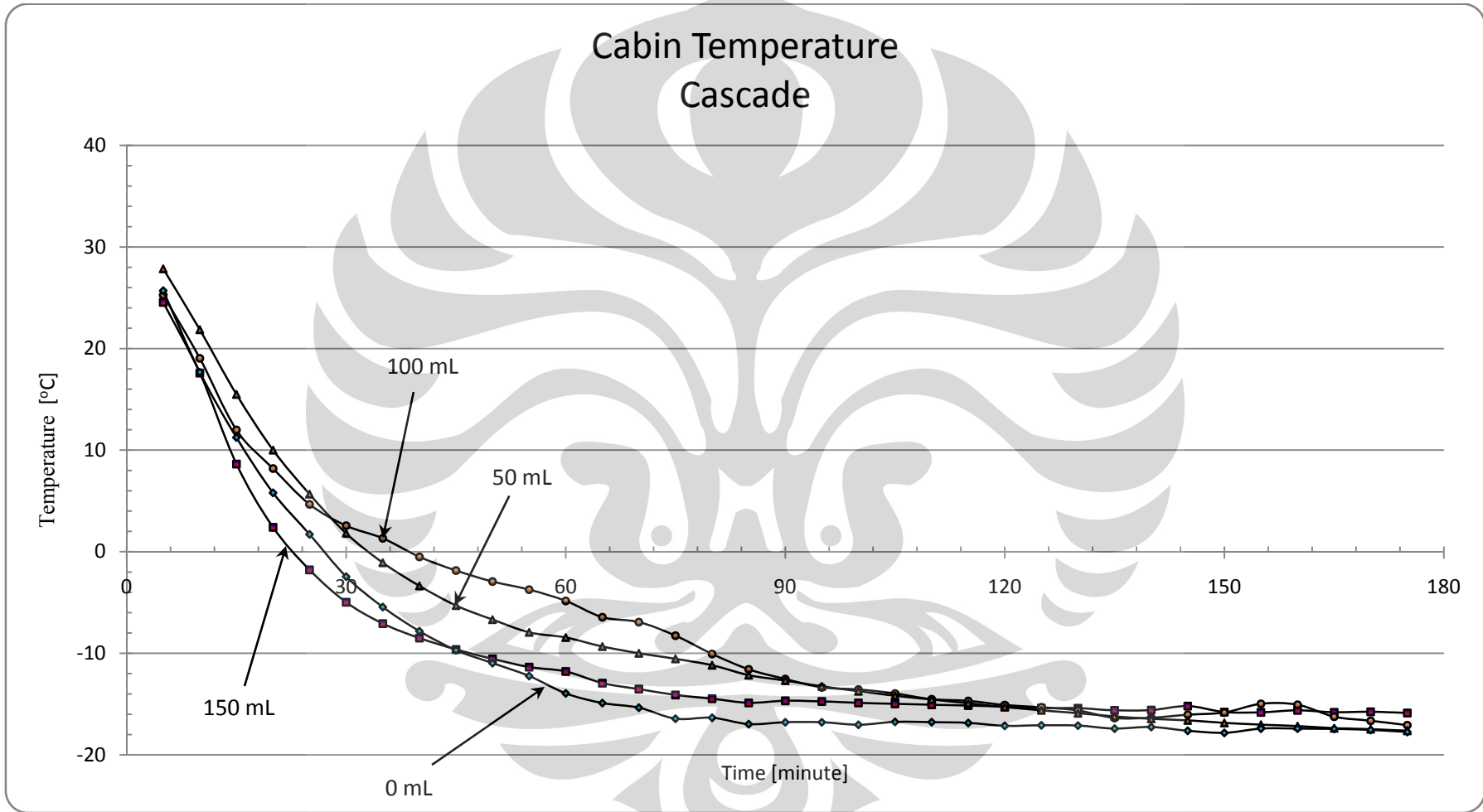
Kesimpulannya terbukti bahwa sistem pendinginan bertingkat lebih unggul dari aspek kecepatan pendinginan dan pencapaian suhu terendah.

Pada grafik 5.6 dan 6.7 diperlihatkan variasi temperatur *cabin* dengan berbagai beban pendinginan baik dengan sistem pendinginan konvensional maupun bertingkat.

Sebagai perbandingan kita ambil beban yang mengalami penurunan suhu paling lama dari masing-masing teknik pendinginan, yaitu beban 50 mL. Untuk mencapai suhu  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  dibutuhkan waktu 58 menit pada teknik pendinginan konvensional dan 45 menit pada pendinginan bertingkat. Artinya untuk mendinginkan beban terberat dalam tes, sistem pendinginan bertingkat bekerja 1,2 kali lebih cepat dari pada sistem pendinginan konvensional.



**Grafik 5.6** Variasi temperatur *cabin* terhadap beban pada sistem pendinginan konvensional



Grafik 5.7 Variasi temperatur *cabin* terhadap beban pada sistem pendinginan bertingkat

Grafik 5.6 dan 5.7 juga memperlihatkan ketidak beraturan penurunan suhu pada berbagai beban, contohnya pada sistem pendinginan bertingkat, beban 150 mL justru 20 menit lebih cepat untuk mencapai suhu  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan beban 50 mL. Hal ini bisa disebabkan karna tidak meratanya distribusi temperatur dalam *cabin* atau tidak simetrinya penyusunan beban 50 mL seperti ditunjukkan sebelumnya pada gambar 4.19 bab IV.

Pengumpulan beban pada bagian tengah *cabin* menyebabkan penurunan suhu menjadi lebih lama, bagian tepi membeku lebih cepat karna sumber penyerap kalor kedua setelah *cold sink* adalah dinding-dinding aluminium pada sisi *cabin*

Hasil tersebut diperkuat dengan pemeriksaan temperatur *tube* dengan sensor infra merah seperti ditunjukkan pada gambar 5.1. dimana *tube* pada bagian sisi membeku lebih cepat dari pada bagian tengah.

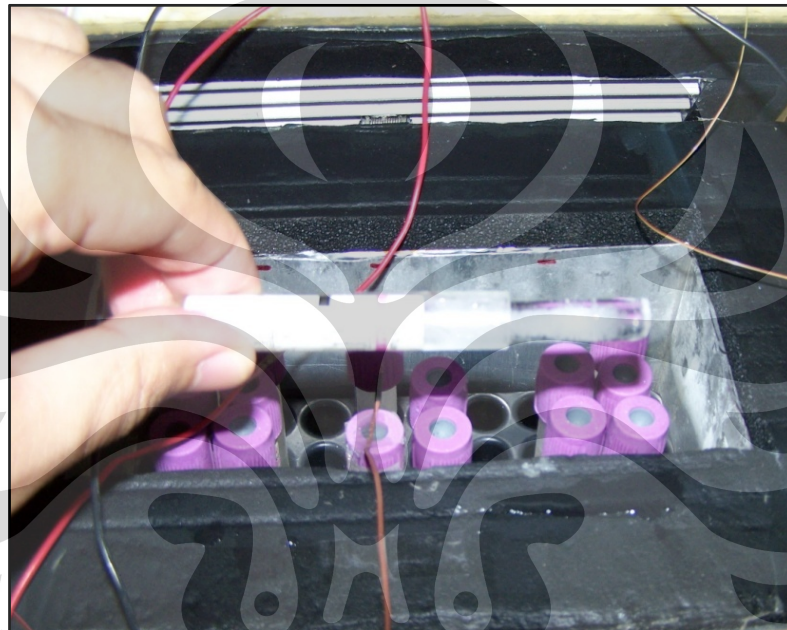


**Gambar 5.1** Pemeriksaan dengan sensor infra merah

Pada gambar diperlihatkan 6 buah tube pada bagian sisi kanan telah membeku dan mencapai suhu  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sedangkan bagian tengah, tempat diletakkannya sensor hanya 1 tube saja yang sudah membeku.

Permasalahan ini dapat dipecahkan dengan menyusun tube merapat ke dinding *cabin*, penyusunan tersebut bertujuan agar proses penyerapan kalo dapat dilakukan oleh dinding *cabin* dengan lebih cepat.

Secara garis besar suhu *cabin* dapat diturunkan lebih rendah dari 0 °C dalam tempo kurang dari 60 menit, dan semua *tube* membeku pada akhir pengujian. Artinya salah satu target utama penelitian *blood carrier* telah berhasil. Bukti tersebut ditunjukkan pada gambar 5.7 berikut ini.



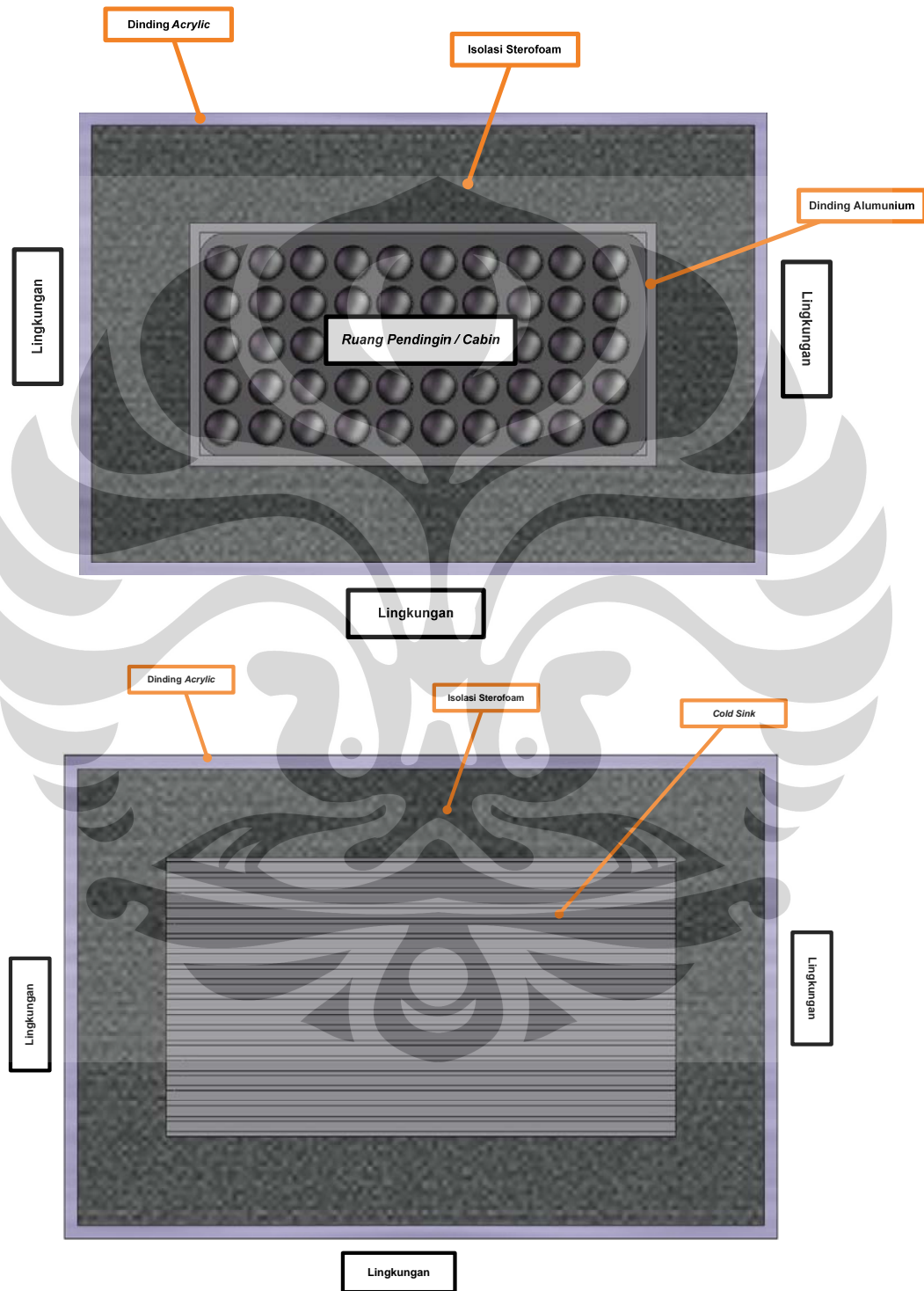
Gambar 5.2 Kondisi akhir beban setelah pengujian

#### 5.4 ANALISA KALOR YANG HILANG

Perhitungan nilai kalor konduksi pada sistem isolasi *blood carrier* dilakukan dengan asumsi sebagai berikut :

- Kondisi tunak (*steady state*)
- Perhitungan konduksi satu dimensi seperti pada gambar 5.3.
- Kontak hambatan antara dinding diabaikan.
- Permukaan dalam dianggap adiabatik.
- Konduktivitas termal material tidak berubah menurut waktu pendinginan.

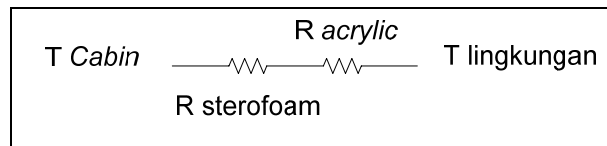
- Suhu lingkungan diambil nilai rata-rata yaitu 29 °C untuk sistem pendinginan konvensional dan 16 °C untuk sistem pendinginan bertingkat.



**Gambar 5.3** Skematik isolasi *blood carrier* secara 2 dimensi



Dari gambar isolasi 2 dimensi maka dapat diketahui tahanan termalnya mempunyai rangkaian sebagai berikut :



Besarnya konduktivitas termal, luas keseluruhan dan tebal material isolasi ditunjukkan pada tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Konduktivitas termal, luas total dan jarak termal material isolasi

Material	K (W/mk)	A (m <sup>2</sup> )	ΔX (m)
Isolasi Sterofom	0,033	0,1073	0,035
Isolasi Acrylic	0,2	0.1426	0,003

Analisis kalor yang hilang adalah  $q_{\text{loss}}$  (Watt), Nilai  $q$  dapat dihitung dengan menggunakan rumus perpindahan kalor pada dinding datar dengan persamaan :

$$q_{\text{pendinginan normal}} = \frac{T_{cabin} - T_{lingkungan\ luar}}{\left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{sterofom} + \left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{acrylic}}$$

$$q_{\text{pendinginan bertingkat}} = \frac{T_{cabin} - T_{refrigerator}}{\left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{sterofom} + \left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{acrylic}}$$

$T_{cabin}$  yang menjadi acuan adalah temperatur optimum *blood carrier* 4 °C.

Nilai kalor yang hilang pada sistem pendinginan konvensional adalah :

$$\begin{aligned} q_{\text{pendinginan normal}} &= \frac{T_{cabin} - T_{lingkungan\ luar}}{\left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{sterofom} + \left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{acrylic}} \\ &= \frac{4 - 29}{\left(\frac{0,035}{(0,033 \cdot 0,1073)}\right)_{sterofom} + \left(\frac{0,003}{(0,2 \cdot 0,1426)}\right)_{acrylic}} \\ &= -2,502 \text{ Watt} \end{aligned}$$



Nilai kalor yang hilang pada sistem pendinginan bertingkat adalah :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{pendinginan bertingkat}} &= \frac{T_{\text{cabin}} - T_{\text{refrigerator}}}{\left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{\text{sterof foam}} + \left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{\text{acrylic}}} \\
 &= \frac{4 - 16}{\left(\frac{0,035}{0,033 \cdot 0,1073}\right)_{\text{sterof foam}} + \left(\frac{0,003}{0,2 \cdot 0,1426}\right)_{\text{acrylic}}} \\
 &= -1,201 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, sistem pendinginan bertingkat berhasil memperkecil nilai kalor yang hilang dari 2,502 Watt menjadi 1,201 Watt.

## 5.5 PERHITUNGAN COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP)

Nilai COP dari masing-masing teknik pendinginan dapat diketahui dari data pengujian *blood carrier* yang telah dilakukan selama 175 menit dengan beban maksimum. Adapun perhitungan COP dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$COP = \frac{q_c}{P_{in}}$$

Dimana :

$q_c$  = Beban kalor yang dipindahkan (Watt)

$P_{in}$  = Daya input elemen peltier (Watt)

### 5.5.1 Perhitungan COP pada Sistem Pendinginan Konvensional.

Langkah perhitungan COP untuk sistem pendinginan konvensional adalah sebagai berikut :

#### 1. Data Perhitungan

Daya input peltier	: 48 watt
Beban	: 50 tube @ 3mL
Waktu	: 175 menit (10500 detik)
$T_{\text{cabin akhir}}$	: - 7,6 °C
$T_{\text{cabin awal}}$	: 26,6 °C

$T_{\text{lingkungan}}$	: 29 °C
$A_{\text{atap}}$	: 0,0174 m <sup>2</sup>
$A_{\text{alas}}$	: 0,019 m <sup>2</sup>
$A_{\text{dinding kanan}}$	: 0,02945 m <sup>2</sup>
$A_{\text{dinding kiri}}$	: 0,02945 m <sup>2</sup>
$A_{\text{dinding depan}}$	: 0,0434 m <sup>2</sup>
$A_{\text{dinding belakang}}$	: 0,0434 m <sup>2</sup>
$h_o$	: 25 W/m <sup>2</sup> .K
$h_i$	: 25 W/m <sup>2</sup> .K

**Tabel 5.2** Massa dan kalor spesifik beban yang didinginkan

<b>Beban</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Cp* (J/(kg.K))</b>
Air	0,15	4186
<i>Aluminium case</i>	0,11	900
<i>Cold sink</i>	0,83	900
<i>Spacer Block</i>	0,13	900

*Beban pendinginan tube dan rak diabaikan*

\* Sumber : [www.melcor.com](http://www.melcor.com)

## 2. Perhitungan Beban Transmisi ( $q_{\text{trans}}$ )

Beban transmisi terjadi karena adanya perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi melalui bagian dinding, alas ataupun atap alat. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

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

Dengan :

$q$  = Beban kalor konduksi dari dinding (Watt)

$U$  = Koefisien perpindahan kalor keseluruhan (W/m<sup>2</sup>K)

$A$  = Luas penampang perpindahan kalor (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara luar dengan temperatur dalam (°C)

Koefisien perpindahan kalor keseluruhan  $U$  dari dinding, lantai, dan atap dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}}$$

Dengan :

$U$  = Koefisien perpindahan kalor keseluruhan ( $W/m^2K$ )

$x$  = Tebal dinding (m)

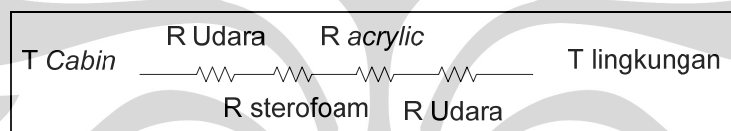
$k$  = Konduktivitas termal material ( $W/mK$ )

$h_i$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian dalam ( $W/m^2K$ )

$h_o$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian luar ( $W/m^2K$ )

Perhitungan beban transmisi terbagi menjadi 3 bagian, yaitu :

a. Atap

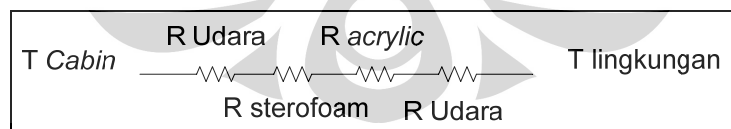


$$x_{\text{sterofom}} = 0,01 \text{ m}, x_{\text{acrylic}} = 0,01 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\text{atap}} = U \cdot A \cdot \Delta T \\ = 0,865 (0,0174) (29 - (-7,6)) = 0,55 \text{ Watt}$$

b. Alas



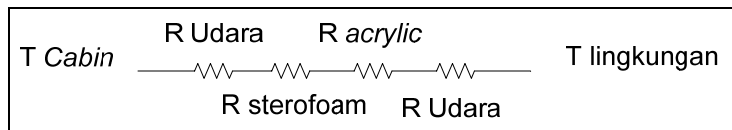
$$x_{\text{sterofom}} = 0,035 \text{ m}, x_{\text{acrylic}} = 0,003 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\text{alas}} = U \cdot A \cdot \Delta T \\ = 0,865 (0,019) (29 - (-7,6)) = 0,60 \text{ Watt}$$

## c. Dinding

- Kanan dan Kiri

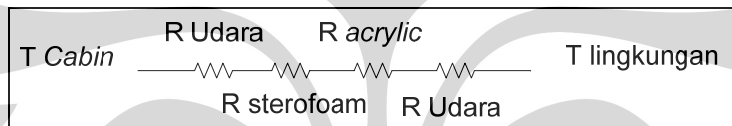


$$x_{sterofom} = 0,035 \text{ m}, x_{acrylic} = 0,003 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q_{dinding \text{ kanan dan kiri}} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\ &= 2(0,865 (0,02945) (29 - (-7,6))) \\ &= 1,86 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Belakang dan Depan



$$x_{sterofom} = 0,035 \text{ m}, x_{acrylic} = 0,003 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q_{dinding \text{ belakang dan depan}} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\ &= 2(0,865 (0,0434) (29 - (-7,6))) \\ &= 2,75 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka total beban kalor transmisi adalah :

$$\begin{aligned} Q_{transmisi} &= q_{atap} + q_{alas} + q_{dinding \text{ kanan dan kiri}} + q_{dinding \text{ depan dan belakang}} \\ &= 0,55 + 0,60 + 1,86 + 2,75 = \mathbf{5,76 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan Beban Pendinginan ( $q_{cooling}$ )

Beban pendinginan dapat dihitung dengan persamaan :

$$q \text{ beban yang didinginkan} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Hasil perhitungan  $q$  berdasarkan data perhitungan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 5.3** Hasil perhitungan kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan beban.

Beban	$q$ beban yang didinginkan (Watt)
Air	2,045
Aluminium case	0,322
Cold sink	2,433
Spacer Block 2 buah	0,762

$$\begin{aligned}
 q_{cooling} &= q_{air} + q_{aluminium\ case} + q_{cold\ sink} + q_{spacer\ block} \\
 &= 2,045 + 0,264 + 3,283 + 2,990 \\
 &= \mathbf{5,562, Watt}
 \end{aligned}$$

### 4. Perhitungan Beban Keseluruhan ( $q_c$ )

$$\begin{aligned}
 q_c &= q_{transmisi} + q_{cooling} + q_{losses} \\
 &= 5,76 + 5,562 + 2,502 \\
 &= \mathbf{13,824 Watt}
 \end{aligned}$$

### 5. Perhitungan COP

$$\begin{aligned}
 COP &= \frac{q_c}{P_{in}} \\
 COP &= \frac{13,824}{48} \\
 COP &= \mathbf{0,288}
 \end{aligned}$$

### 5.5.2 Perhitungan COP pada Sistem Pendinginan Bertingkat.

Perhitungan COP pada sistem pendinginan bertingkat terbagi menjadi dua yaitu perhitungan dengan melibatkan daya lemari pendingin dan yang tidak.

- a. Perhitungan COP dengan melibatkan daya lemari pendingin.

Langkah perhitungan COP untuk sistem pendinginan bertingkat adalah sebagai berikut :

#### 1. Data Perhitungan

Daya input peltier	: 48 watt
Daya input lemari pendingin	: 45 watt
Beban	: 50 tube @ 3mL
Waktu	: 175 menit (10500 detik)
$T_{cabin\ akhir}$	: - 15,8 °C
$T_{cabin\ awal}$	: 26,6 °C
$T_{refrigerator}$	: 16,3 °C
$A_{atap}$	: 0,0174 m <sup>2</sup>
$A_{alas}$	: 0,019 m <sup>2</sup>
$A_{dinding\ kanan}$	: 0,02945 m <sup>2</sup>
$A_{dinding\ kiri}$	: 0,02945 m <sup>2</sup>
$A_{dinding\ depan}$	: 0,0434 m <sup>2</sup>
$A_{dinding\ belakang}$	: 0,0434 m <sup>2</sup>
$h_o$	: 25 W/m <sup>2</sup> .K
$h_i$	: 25 W/m <sup>2</sup> .K

**Tabel 5.5** Massa dan kalor spesifik beban yang didinginkan

Beban	Massa (kg)	Cp* (J/(kg.K))
Air	0,15	4186
Aluminium case	0,11	900
Cold sink	0.83	900
Spacer Block	0,13	900

Beban pendinginan tube dan rak diabaikan

\* Sumber : [www.melcor.com](http://www.melcor.com)

## 2. Perhitungan Beban Transmisi ( $q_{\text{trans}}$ )

Beban transmisi terjadi karena adanya perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi melalui bagian dinding, alas ataupun atap alat. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

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

Dengan :

$q$  = Beban kalor konduksi dari dinding (Watt)

$U$  = Koefisien perpindahan kalor keseluruhan ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$A$  = Luas penampang perpindahan kalor ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur udara luar dengan temperatur dalam ( $^{\circ}\text{C}$ )

Koefisien perpindahan kalor keseluruhan  $U$  dari dinding, lantai, dan atap dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}}$$

Dengan :

$U$  = Koefisien perpindahan kalor keseluruhan ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$x$  = Tebal dinding (m)

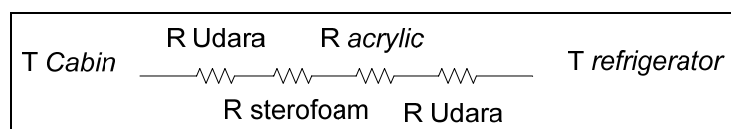
$k$  = Konduktivitas termal material ( $\text{W}/\text{mK}$ )

$h_i$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian dalam ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$h_o$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian luar ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

Perhitungan beban transmisi terbagi menjadi 3 bagian, yaitu :

### a. Atap



$$x_{\text{styrofoam}} = 0,01 \text{ m}, x_{\text{acrylic}} = 0,01 \text{ m}$$

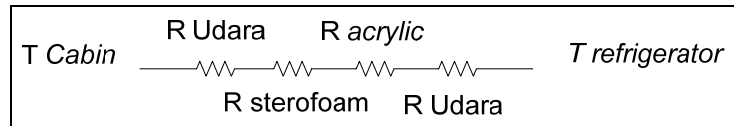
$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$



$$Q_{\text{atap}} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$= 0,865 (0,0174) (29 - (-7,6)) = 0,55 \text{ Watt}$$

b. Alas



$$x_{\text{sterofoam}} = 0,035 \text{ m}, x_{\text{acrylic}} = 0,003 \text{ m}$$

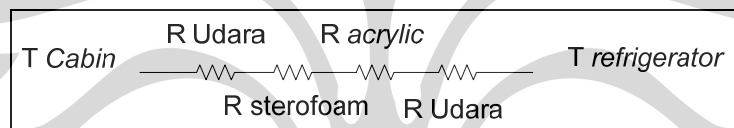
$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\text{alas}} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$= 0,865 (0,019) (29 - (-7,6)) = 0,60 \text{ Watt}$$

c. Dinding

• Kanan dan Kiri



$$x_{\text{sterofoam}} = 0,035 \text{ m}, x_{\text{acrylic}} = 0,003 \text{ m}$$

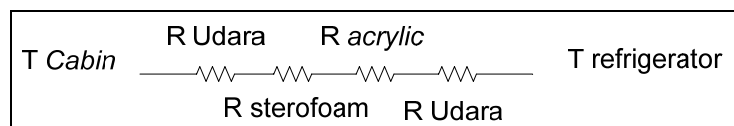
$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\text{dinding kanan dan kiri}} = 2(U \cdot A \cdot \Delta T)$$

$$= 2(0,865 (0,02945) (29 - (-7,6)))$$

$$= 1,86 \text{ Watt}$$

• Belakang dan Depan



$$x_{\text{sterofoam}} = 0,035 \text{ m}, x_{\text{acrylic}} = 0,003 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,035}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,865 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{dinding belakang dan depan}} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\
 &= 2(0,865 (0,0434) (29-(-7,6))) \\
 &= 2,75 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Maka total beban kalor transmisi adalah :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ transmisi}} &= q_{\text{ atap}} + q_{\text{ alas}} + q_{\text{ dinding kanan dan kiri}} + q_{\text{ dinding depan dan belakang}} \\
 &= 0,55 + 0,60 + 1,86 + 2,75 = \mathbf{5,76 \text{ Watt}}
 \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan Beban Pendinginan ( $q_{\text{cooling}}$ )

Beban pendinginan dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_{\text{ beban yang didinginkan}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Hasil perhitungan  $q$  berdasarkan data perhitungan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 5.6** Hasil perhitungan kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan beban.

Beban	$q$ beban yang didinginkan (Watt)
Air	2,535
<i>Aluminium case</i>	0,399
<i>Cold sink</i>	3,016
<i>Spacer Block 2 buah</i>	0,944

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ cooling}} &= q_{\text{air}} + q_{\text{aluminium case}} + q_{\text{cold sink}} + q_{\text{spacer block}} \\
 &= 2,535 + 0,399 + 3,016 + 0,944 \\
 &= \mathbf{6,894 \text{ Watt}}
 \end{aligned}$$

### 4. Perhitungan Beban Keseluruhan ( $q_c$ )

$$\begin{aligned}
 q_c &= q_{\text{ transmisi}} + q_{\text{ cooling}} + q_{\text{ losses}} \\
 &= 5,76 + 6,894 + 1,201 \\
 &= \mathbf{13,855 \text{ Watt}}
 \end{aligned}$$

### 5. Perhitungan COP

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{refrigerator} + P_{peltier} \\ &= 45 + 48 \\ &= 93 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} COP &= \frac{q_c}{P_{in}} \\ COP &= \frac{13,855}{93} \\ COP &= \mathbf{0,14} \end{aligned}$$

### b. Perhitungan COP tanpa melibatkan daya lemari pendingin

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{peltier} \\ &= 48 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} COP &= \frac{q_c}{P_{in}} \\ COP &= \frac{13,855}{48} \\ COP &= \mathbf{0,288} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan baik dengan sistem pendinginan konvensional maupun bertingkat, hasil COP keduanya masih sangat rendah, hal ini disebabkan karna digunakannya peltier sebagai elemen pendingin utama, dimana peltier cenderung sebagai elemen pemanas dari pada pendingin.

Hasil COP pada sistem pendinginan bertingkat memang lebih rendah apabila dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional karna daya input yang dibutuhkan lebih besar akibat digunakannya lemari pendingin, namun sisi positif muncul dari pencapaian suhu minimum dan kecepatan pendinginan dengan hasil yang sangat baik. Sehingga sistem pendinginan bertingkat tetap mempunyai potensi yang tinggi untuk digunakan sebagai media pendingin lain yang membutuhkan suhu yang sangat rendah.

## 5.6 ANALISA COP PELTIER

Peltier berkerja berdasarkan prinsip  $\Delta T$ , dari kenaikan dan penurunan  $\Delta T$  nilai COP peltier dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$COP = \left( \frac{T_{ave}}{\Delta T} \right) \left[ \frac{\left( (1 + Z \cdot T_{ave})^{\frac{1}{2}} - 1 \right)}{\left( (1 + Z \cdot T_{ave})^{\frac{1}{2}} + 1 \right)} \right] - \frac{1}{2}$$

(Sumber : <http://www.melcor.com/formula.html>)

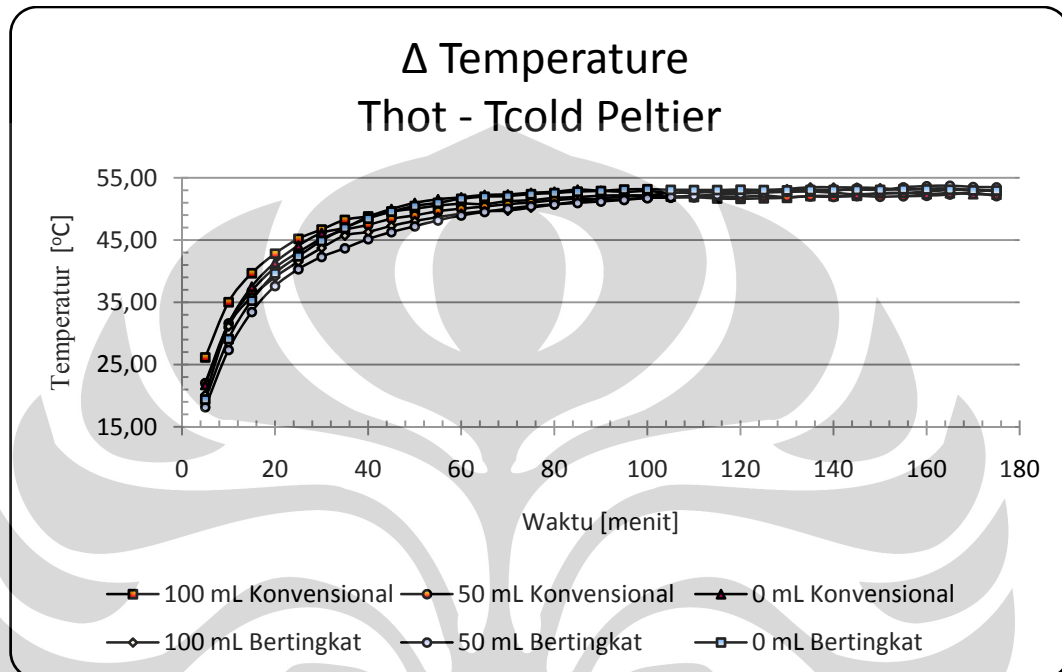
Perubahan  $\Delta T$  menurut waktu ditunjukkan pada grafik 5.8, dari grafik dapat diketahui bahwa perubahan  $\Delta T$  terbesar dimulai dari awal pengujian hingga menit ke 60, setelahnya perubahan  $\Delta T$  cenderung konstan. Apabila dihubungkan dengan grafik-grafik distribusi dan variasi temperatur sebelumnya, trend grafik  $\Delta T$  seperti ini terjadi akibat penurunan suhu yang sangat cepat pada sisi dingin peltier, berbeda pada sisi panasnya yang kenaikan dan penurunan suhunya cenderung konstan yaitu berkisar  $1^{\circ}\text{C}$  hingga  $5^{\circ}\text{C}$  saja.

Perubahan  $\Delta T$  memberikan trend yang sama, baik dengan menggunakan sistem pendinginan konvensional maupun dengan sistem pendinginan bertingkat. Hal ini menunjukkan bahwa *heatsink-heatpipe* bekerja dengan baik dalam meredam panas peltier. Kualitas *heatsink-heatpipe* yang digunakan untuk mendinginkan sisi panas peltier sangat menentukan perolehan  $\Delta T$ , seperti diketahui sebelumnya bahwa peltier datang dengan  $\Delta T$  bawaan yang tetap. Dengan kata lain dengan semakin diturunkannya suhu pada sisi panas peltier maka akan didapatkan pula penurunan suhu pada sisi dinginnya.

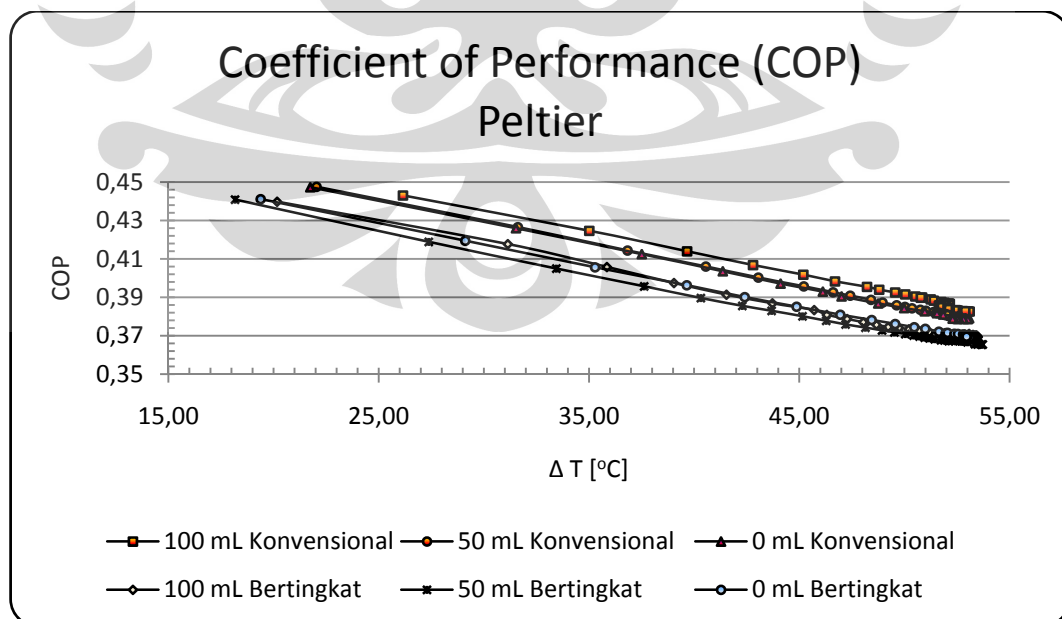
Dari grafik 5.9, dapat dilihat perubahan COP terhadap  $\Delta T$ . Grafik menunjukkan semakin besar  $\Delta T$  antara sisi panas dan dingin peltier, maka semakin kecil COP yang diperoleh. Pada awal pengujian hingga menit ke 60 kalor yang dipompa atau diserap oleh sisi dingin peltier sangat besar, lalu sesudahnya kalor yang dapat diserap semakin kecil karna seiring dengan suhu *cabin* yang semakin turun, sedangkan energi listrik yang diberikan ke peltier selalu tetap.

Karna COP dalam peltier adalah perbandingan antara kalor yang dipompa dan energi listrik yang digunakan.

Hal ini yang menyebabkan mengapa grafik pada awal pengujian perolehan COP sangat besar, sedangkan setelah menit ke 60 COP menunjukkan penurunan, karna memang setelah menit ke 60 sudah sedikit sekali kalor yang dapat di pompa atau diserap dari dalam *cabin*.



Grafik 5.8 Variasi perubahan  $\Delta T$  peltier



Grafik 5.9 Variasi perubahan COP Peltier

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 KESIMPULAN**

Setelah dilakukan serangkaian pengujian dan analisis maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara garis besar *Blood carrier* yang menggunakan sistem pendinginan bertingkat memiliki laju pendinginan yang tinggi dan pencapaian temperatur terendah dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional.
2. Nilai COP adalah 0,14 untuk sistem pendinginan bertingkat dan 0,29 untuk sistem pendinginan konvensional.

#### **6.2 SARAN**

Setelah melakukan proses pembuatan, pengujian dan analisa terhadap alat, terdapat beberapa rekomendasi dan saran untuk pengembangan sistem pendinginan bertingkat :

1. Penggunaan peltier yang lebih berkualitas dapat meningkatkan kinerja pendinginan alat secara keseluruhan.
2. *Tube* yang digunakan sebagai beban uji hendaknya memiliki ketahanan terhadap suhu rendah, karna pada beberapa pengujian sering dijumpai *tube* yang pecah akibat temperatur yang terlalu rendah.
3. Pengembangan alat selanjutnya bisa difokuskan pada perbaikan isolator untuk meminimalkan kebocoran termal.

4. Untuk meingkatkan COP dapat dipertimbangkan dengan penambahan rangkaian listrik berupa pengatur tegangan otomatis yang naik dan turun sesuai dengan suhu *cabin* untuk ditempatkan pada rangkaian *power supply*.

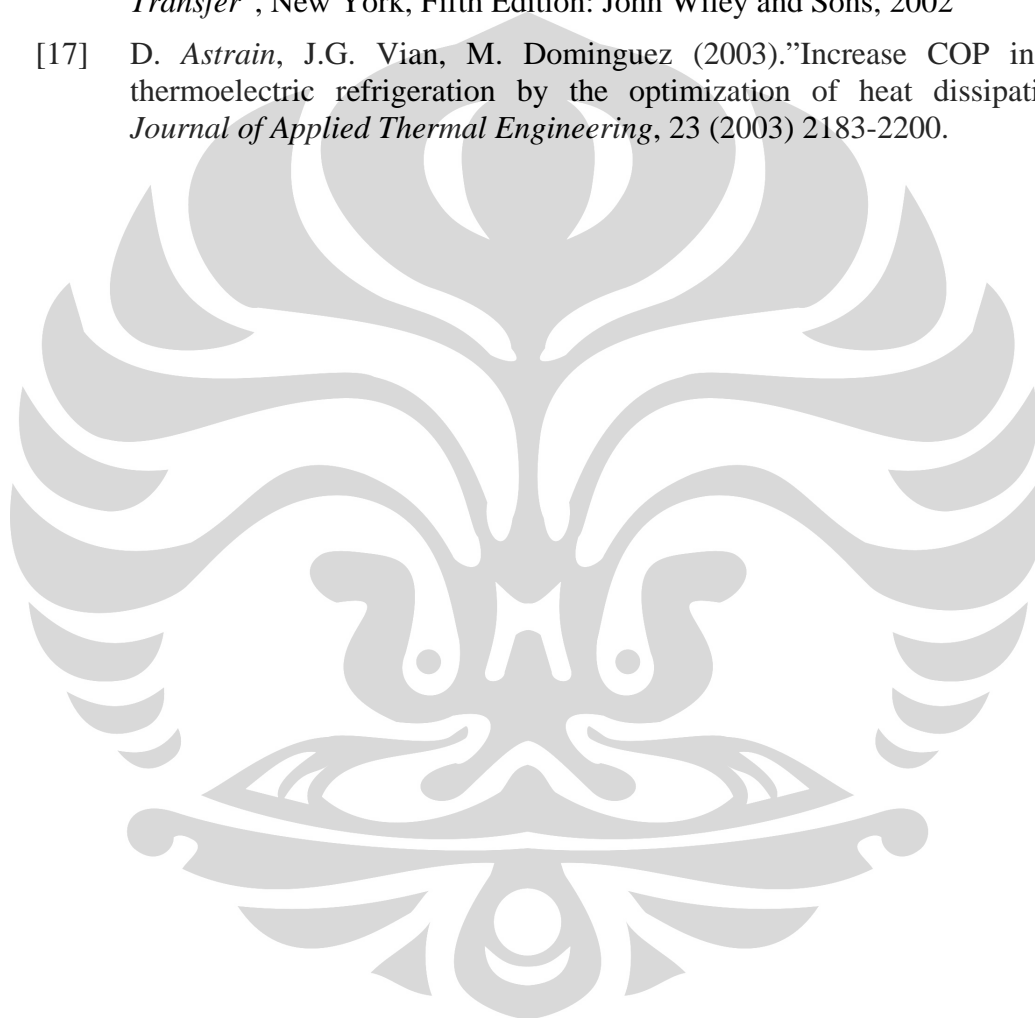




## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurpudji A Taslim, "Kontroversi seputar gizi buruk : Apakah ketidak berhasilan Departemen Kesehatan? <http://www.gizi.net/Makalah-artikel>. Download tanggal 21 Maret 2007.
- [2] Azrul Azwar, "Kecenderungan Masalah Gizi dan Tantangan di Masa Depan" Pertemuan advokasi Program Perbaikan Gizi Menuju Keluarga sadar Gizi, Jakarta 27 September 2004.
- [3] [www.who.org](http://www.who.org). Download 20 Maret 2007.
- [4] Nandy et al, "Penggunaan *heat sink fan* sebagai pendingin sisi panas elemen peltier pada pengembangan *vaccine carrier*", in press di Jurnal Teknologi FTUI, Depok, 2007.
- [5] [www.howitworks.com](http://www.howitworks.com). Download 20 Maret 2007.
- [6] Nandy et.al, "Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat Dua Pada Aplikasi Kotak Vaksin", SNTTM IV, Bali, 2005.
- [7] "Martindale, *the extra pharmacopoeia*", London, 30<sup>th</sup> Edition. Pharmaceutical Press 1982.
- [8] Encarta Reference Library DVD, 2005.
- [9] "The blood cold chain: guide to the selection and procurement of equipment and accessories" Departemen of blood safety and clinical technology, World Health Organization, Geneva.
- [10] S.B. Riffat, Guoquan Qiu (2004). "Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air conditioners". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 24 (2004) 1979-1993.
- [11] [www.heat-sink-guide.com](http://www.heat-sink-guide.com)
- [12] S.B. Riffat, S.A. Omer, Xiali Ma (2001). "A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experience investigation". *Journal of Renewable Energy*, 23 (2001) 313-323.
- [13] S.B. Riffat, Xiaoli Ma (2003). "Thermoelectric: a review of present and potential applications". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 913-935.

- [14] Nandy Putra, Uji Unjuk Kerja Kotak Vaksin berbasis Elemen Peltier Ganda, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 27 Juni 2006. ISBN 979-99266-1-0
- [15] Nandy Putra, Haryo Tedjo, RA Koestoer, Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat dua pada aplikasi Kotak Vaksin, *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IV, 21-22 November 2005, ISBN 979-97158-0-6, Universitas Udayana, Bali, Indonesia.*
- [16] Incopera, Frank P., Dewitt, David P., “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*”, New York, Fifth Edition: John Wiley and Sons, 2002
- [17] D. Astrain, J.G. Vian, M. Dominguez (2003).”Increase COP in the thermoelectric refrigeration by the optimization of heat dissipation”. *Journal of Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 2183-2200.





## Lampiran 1

Tabel hasil pengujian dengan beban **150 mL Konvensional**

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
27,88	22,93	26,62	45,00	41,10	17,45	34,05	17,90	5
27,96	13,73	22,20	45,86	41,42	8,83	34,38	9,04	10
28,18	8,02	18,19	45,16	40,64	3,33	33,83	3,53	15
28,17	4,00	14,03	44,63	40,11	-0,39	33,57	-0,30	20
28,01	1,12	11,21	44,26	39,86	-2,93	33,41	-3,02	25
27,89	-0,51	9,15	43,89	39,16	-4,77	32,86	-4,70	30
27,96	-1,71	7,64	43,57	38,94	-6,02	32,72	-5,93	35
28,39	-2,66	6,28	43,62	39,15	-6,86	32,98	-6,74	40
28,33	-3,48	4,59	43,48	39,09	-7,64	32,92	-7,54	45
28,35	-4,12	1,78	43,39	38,82	-8,25	32,66	-8,11	50
28,24	-4,53	-2,10	43,24	38,98	-8,68	32,80	-8,47	55
28,12	-5,17	-3,85	43,25	39,10	-9,05	32,89	-9,17	60
27,99	-5,33	-4,41	43,06	38,95	-9,33	32,83	-9,18	65
27,95	-5,55	-5,12	42,93	38,44	-9,71	32,27	-9,54	70
28,02	-5,76	-5,53	42,92	38,54	-9,87	32,54	-9,75	75
27,75	-5,93	-5,43	42,73	38,57	-10,18	32,53	-9,84	80
27,75	-6,11	-5,78	42,67	38,42	-10,37	32,32	-9,96	85
27,62	-6,33	-6,04	42,56	38,42	-10,56	32,34	-10,12	90
28,07	-6,69	-6,53	42,76	38,10	-10,83	32,03	-10,50	95
28,05	-6,90	-6,77	42,78	38,17	-10,87	32,21	-10,65	100
28,07	-7,30	-7,47	42,81	38,39	-10,95	32,46	-11,02	105
28,06	-7,53	-7,47	42,62	38,48	-10,97	32,58	-11,07	110
28,12	-7,52	-7,06	42,73	38,41	-11,12	32,41	-10,91	115
28,10	-7,72	-7,16	42,68	38,48	-11,17	32,50	-11,15	120
27,97	-7,94	-7,42	42,54	38,64	-11,40	32,53	-11,38	125
27,96	-8,08	-7,51	42,56	38,58	-11,54	32,50	-11,38	130
28,33	-8,04	-7,26	42,84	38,70	-11,56	32,61	-11,19	135
28,01	-8,28	-7,71	42,57	38,59	-11,63	32,54	-11,48	140
27,94	-8,41	-7,81	42,40	38,64	-11,76	32,60	-11,51	145
28,05	-8,59	-8,10	42,52	38,55	-11,81	32,46	-11,72	150
27,97	-8,60	-8,09	42,28	38,62	-11,84	32,59	-11,72	155
28,27	-8,47	-7,80	42,67	38,82	-11,84	32,80	-11,55	160
28,31	-8,55	-7,68	42,76	38,82	-11,91	32,73	-11,53	165
28,27	-8,65	-7,75	42,70	38,77	-11,97	32,68	-11,74	170
28,74	-8,68	-7,60	42,94	38,75	-12,05	32,69	-11,73	175

## Lampiran 2

Tabel hasil pengujian dengan beban **100 mL Konvensional**

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
32,48	25,45	27,55	48,76	44,29	20,21	37,10	20,55	5
32,79	16,83	23,79	49,66	44,81	12,21	37,63	12,24	10
32,81	11,25	19,61	48,97	44,24	6,90	37,18	6,99	15
33,02	7,30	13,53	48,57	43,62	3,24	36,89	3,37	20
33,17	4,41	8,42	48,32	43,56	0,80	36,94	0,71	25
33,04	2,29	5,50	48,00	43,28	-0,94	36,82	-1,17	30
33,34	0,78	2,85	48,08	43,40	-2,24	36,99	-2,73	35
33,20	-0,23	1,46	47,81	43,15	-3,14	36,77	-3,49	40
33,33	-1,04	0,34	47,79	43,17	-3,83	36,84	-4,32	45
33,32	-1,65	-0,34	47,73	43,17	-4,31	36,83	-4,86	50
33,37	-2,29	-1,26	47,63	43,12	-4,86	36,85	-5,44	55
33,35	-2,59	-1,82	47,69	43,11	-5,24	36,80	-5,63	60
33,26	-2,79	-2,12	47,52	42,96	-5,44	36,71	-5,62	65
33,29	-3,32	-2,93	47,51	43,00	-5,81	36,73	-6,18	70
33,15	-3,79	-3,59	47,30	42,75	-6,16	36,59	-6,57	75
33,13	-4,25	-4,22	47,28	42,75	-6,49	36,64	-6,97	80
33,13	-4,56	-4,56	47,16	42,68	-6,72	36,58	-7,22	85
33,08	-4,73	-4,77	47,22	42,69	-6,91	36,56	-7,39	90
33,01	-4,96	-4,79	47,09	42,60	-7,10	36,45	-7,51	95
32,73	-5,27	-5,12	46,84	42,34	-7,31	36,31	-7,74	100
32,44	-5,47	-5,23	46,54	42,09	-7,53	36,05	-7,83	105
32,11	-5,66	-5,37	46,26	41,82	-7,79	35,81	-7,95	110
31,80	-5,79	-5,37	45,95	41,47	-7,95	35,49	-7,97	115
31,49	-5,94	-5,47	45,72	41,32	-8,13	35,39	-8,10	120
31,33	-6,25	-5,71	45,47	41,15	-8,41	35,14	-8,35	125
31,22	-6,51	-5,92	45,29	41,05	-8,65	35,04	-8,58	130
31,04	-6,81	-6,33	45,15	41,01	-8,97	34,95	-8,99	135
30,97	-6,95	-6,44	45,00	40,89	-9,15	34,85	-9,08	140
30,92	-7,09	-6,59	44,91	40,92	-9,22	34,86	-9,19	145
30,98	-7,40	-7,08	44,96	40,94	-9,43	34,94	-9,56	150
31,06	-7,53	-7,27	45,00	40,91	-9,51	34,95	-9,63	155
31,14	-7,71	-7,48	45,11	40,99	-9,62	35,03	-9,83	160
31,39	-7,77	-7,61	45,35	41,22	-9,57	35,21	-9,91	165
31,42	-7,73	-7,61	45,39	41,25	-9,63	35,20	-9,93	170
31,39	-7,73	-7,48	45,28	41,09	-9,60	35,15	-9,81	175

### Lampiran 3

Tabel hasil pengujian dengan beban **50 mL Konvensional**

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
28,32	25,75	31,10	45,28	41,59	20,99	34,22	21,81	5
28,36	15,63	25,26	45,77	41,52	11,84	34,14	12,22	10
28,15	9,10	21,44	44,83	41,05	6,24	34,02	5,97	15
27,97	4,64	16,57	44,38	40,64	2,16	33,58	1,74	20
27,95	1,25	11,54	43,76	40,26	-0,76	33,49	-1,31	25
28,10	-1,26	10,14	43,55	40,12	-3,03	33,45	-3,72	30
27,94	-3,09	8,04	43,26	39,92	-4,68	33,38	-5,34	35
28,06	-4,17	6,75	43,19	39,83	-5,62	33,32	-6,20	40
27,61	-5,32	4,57	43,08	39,54	-6,66	32,97	-7,54	45
27,53	-6,13	3,93	42,84	39,27	-7,48	32,83	-8,33	50
27,60	-6,87	1,63	42,77	39,19	-8,27	32,79	-9,01	55
27,45	-7,55	-1,82	42,59	39,19	-8,70	32,83	-9,55	60
27,45	-8,07	-4,43	42,57	39,11	-9,08	32,81	-9,95	65
27,51	-8,50	-5,92	42,56	39,11	-9,42	32,81	-10,41	70
27,57	-8,78	-6,79	42,59	39,08	-9,69	32,79	-10,67	75
27,52	-8,94	-7,39	42,67	39,03	-10,10	32,72	-10,97	80
27,51	-9,03	-7,79	42,91	39,03	-10,25	32,73	-11,06	85
27,56	-9,18	-7,93	42,63	38,90	-10,30	32,74	-11,19	90
27,54	-9,29	-8,05	42,49	38,90	-10,42	32,65	-11,28	95
27,67	-9,46	-8,28	42,64	38,90	-10,58	32,65	-11,48	100
27,60	-9,51	-8,23	42,50	39,04	-10,61	32,81	-11,45	105
27,64	-9,64	-8,52	42,51	38,91	-10,69	32,65	-11,60	110
27,74	-9,72	-8,61	42,48	38,98	-10,73	32,81	-11,67	115
27,60	-9,79	-8,77	42,48	38,97	-10,78	32,82	-11,70	120
27,71	-9,93	-9,04	42,45	39,00	-10,90	32,84	-11,85	125
27,77	-9,92	-8,81	42,39	39,10	-10,78	32,97	-11,52	130
27,70	-10,00	-9,04	42,35	39,12	-10,84	32,94	-11,68	135
27,43	-10,07	-9,34	42,26	38,79	-10,96	32,64	-11,82	140
27,55	-10,06	-9,47	42,31	38,86	-11,07	32,64	-11,89	145
27,43	-10,11	-9,46	42,18	38,91	-10,98	32,76	-11,86	150
27,57	-10,15	-9,55	42,25	38,95	-10,98	32,77	-11,90	155
27,77	-10,32	-9,58	42,12	39,04	-11,20	32,97	-11,85	160
27,82	-10,45	-9,86	42,20	39,09	-11,32	33,09	-12,00	165
28,14	-10,39	-10,00	42,49	39,43	-11,21	33,33	-12,03	170
27,84	-10,28	-9,56	42,13	39,01	-11,23	33,11	-11,73	175

### Lampiran 4

Tabel hasil pengujian dengan beban **0 mL Konvensional**

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
28,31	25,79	30,21	44,79	40,88	20,83	33,60	21,37	5
28,02	15,70	22,78	45,38	40,88	11,31	33,28	11,91	10
28,12	8,75	16,50	44,66	40,60	4,99	33,16	5,25	15
28,08	3,84	11,57	44,02	39,80	0,43	32,48	0,68	20
27,81	0,19	7,05	43,41	39,17	-2,94	32,06	-2,69	25
27,72	-2,24	3,57	43,07	39,23	-4,93	32,33	-4,99	30
27,35	-3,71	1,41	42,69	38,58	-6,55	31,63	-6,19	35
27,31	-5,42	-1,06	42,59	38,24	-8,24	31,44	-8,42	40
27,07	-6,66	-4,04	42,41	38,39	-9,30	31,88	-9,87	45
27,27	-7,65	-5,31	42,55	38,58	-10,10	32,12	-10,70	50
27,31	-8,25	-6,28	42,61	38,65	-10,62	32,23	-11,19	55
27,23	-8,74	-7,01	42,47	38,60	-11,05	32,18	-11,57	60
27,28	-9,11	-7,54	42,51	38,66	-11,40	32,25	-11,90	65
27,52	-9,36	-7,87	42,49	38,34	-11,69	31,95	-12,13	70
27,48	-9,56	-8,12	42,42	38,48	-11,88	32,13	-12,38	75
27,48	-9,73	-8,39	42,46	38,47	-12,07	32,11	-12,50	80
27,61	-9,95	-8,88	42,77	38,83	-11,99	32,45	-12,55	85
27,61	-9,88	-8,50	42,49	38,67	-12,08	32,27	-12,57	90
27,59	-9,92	-8,40	42,42	38,44	-12,12	32,06	-12,50	95
27,63	-9,95	-8,58	42,41	38,43	-12,25	32,07	-12,62	100
27,49	-9,94	-8,38	42,09	38,24	-12,23	31,84	-12,59	105
27,52	-10,02	-8,73	42,17	38,38	-12,32	32,01	-12,83	110
27,45	-10,01	-8,38	42,00	38,25	-12,30	31,83	-12,67	115
27,32	-9,99	-8,43	41,84	38,20	-12,32	31,82	-12,77	120
27,73	-9,95	-8,07	41,78	38,64	-12,19	31,98	-12,73	125
27,45	-10,20	-9,01	42,14	38,67	-12,32	32,23	-12,89	130
27,28	-10,26	-9,17	42,08	38,39	-12,32	32,03	-12,83	135
27,06	-10,16	-8,78	41,83	38,28	-12,30	31,93	-12,77	140
27,11	-9,99	-8,08	41,60	38,03	-12,37	31,68	-12,63	145
27,12	-10,14	-8,71	41,77	38,00	-12,48	31,61	-12,80	150
27,20	-10,18	-8,85	41,80	38,08	-12,48	31,78	-12,77	155
26,86	-10,14	-8,70	41,48	37,94	-12,53	31,62	-12,77	160
27,10	-10,17	-8,53	41,60	38,10	-12,51	31,70	-12,81	165
27,34	-10,01	-8,29	41,56	38,06	-12,38	31,67	-12,71	170
27,04	-10,12	-8,52	41,49	37,76	-12,58	31,41	-12,75	175



### Lampiran 5

Tabel hasil pengujian dengan beban **150 mL Cascade**

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
13,23	18,18	24,55	33,04	31,25	13,23	24,17	13,35	5
14,59	7,51	17,59	33,57	31,52	3,86	24,80	3,29	10
15,11	0,62	8,63	33,01	31,03	-2,22	24,70	-3,08	15
15,32	-4,15	2,41	32,74	30,47	-6,40	24,54	-7,51	20
15,42	-6,90	-1,78	32,70	29,87	-9,38	23,92	-10,43	25
15,49	-8,94	-4,97	32,72	29,55	-11,40	23,60	-12,26	30
15,64	-10,34	-7,07	32,79	29,58	-12,72	23,68	-13,62	35
15,86	-11,42	-8,50	32,82	29,55	-13,68	23,70	-14,57	40
15,98	-12,25	-9,62	32,89	29,65	-14,36	23,79	-15,36	45
15,99	-12,91	-10,55	32,94	29,82	-14,94	24,04	-15,98	50
16,09	-13,41	-11,36	33,06	29,86	-15,44	24,08	-16,42	55
16,25	-13,84	-11,78	33,29	30,05	-15,76	24,37	-16,74	60
16,30	-14,13	-12,93	33,49	30,14	-16,01	24,46	-16,96	65
16,19	-14,38	-13,53	33,64	30,31	-16,18	24,65	-17,15	70
15,87	-14,63	-14,10	33,69	30,41	-16,41	24,79	-17,40	75
15,78	-14,85	-14,47	33,75	30,49	-16,61	24,90	-17,58	80
15,78	-15,05	-14,87	33,84	30,50	-16,82	24,90	-17,75	85
15,99	-15,04	-14,67	34,06	30,59	-16,89	25,09	-17,57	90
16,07	-15,15	-14,73	34,28	30,73	-17,04	25,20	-17,70	95
16,31	-15,31	-14,88	34,43	30,82	-17,22	25,32	-17,83	100
16,53	-15,49	-14,97	34,57	30,86	-17,42	25,38	-17,99	105
16,69	-15,58	-15,06	34,64	31,05	-17,51	25,57	-18,08	110
16,85	-15,69	-15,14	34,73	31,19	-17,58	25,76	-18,15	115
16,99	-15,80	-15,26	34,89	31,32	-17,61	25,92	-18,22	120
17,19	-15,89	-15,39	35,01	31,36	-17,70	25,92	-18,30	125
17,33	-15,93	-15,39	35,12	31,57	-17,71	26,13	-18,32	130
17,44	-15,98	-15,61	35,23	31,60	-17,79	26,20	-18,36	135
17,58	-16,06	-15,59	35,31	31,66	-17,88	26,28	-18,36	140
17,56	-16,19	-15,19	35,28	31,52	-18,09	26,15	-18,46	145
17,60	-16,27	-15,78	35,30	31,64	-18,13	26,22	-18,49	150
17,69	-16,32	-15,80	35,33	31,81	-18,06	26,47	-18,53	155
17,78	-16,37	-15,61	35,40	31,83	-18,11	26,52	-18,50	160
17,80	-16,45	-15,80	35,40	32,03	-18,03	26,78	-18,53	165
17,81	-16,50	-15,76	35,40	32,26	-17,86	27,04	-18,57	170
17,76	-16,64	-15,87	35,33	31,82	-18,18	26,61	-18,74	175

## Lampiran 6

Tabel hasil pengujian dengan beban **100 mL Cascade**

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
16,39	22,33	25,27	37,41	34,19	15,61	26,29	15,67	5
16,34	12,11	19,04	40,45	33,91	6,04	26,39	6,06	10
17,06	5,53	11,99	38,30	33,48	0,14	26,30	-0,06	15
17,38	0,83	8,19	36,31	33,01	-4,05	26,06	-4,71	20
17,35	-2,63	4,67	35,26	32,62	-7,15	25,79	-8,03	25
14,92	-5,32	2,56	35,30	32,23	-9,50	25,59	-10,40	30
14,17	-7,26	1,32	36,02	32,05	-11,23	25,55	-12,12	35
13,56	-8,98	-0,51	34,48	31,78	-12,56	25,35	-13,79	40
13,47	-10,36	-1,85	34,21	31,55	-13,72	25,20	-15,06	45
13,57	-11,40	-2,94	34,06	31,42	-14,65	25,09	-15,96	50
13,51	-12,29	-3,73	33,98	31,30	-15,39	25,02	-16,66	55
13,75	-13,00	-4,84	33,91	31,21	-15,98	24,96	-17,34	60
14,04	-13,49	-6,44	33,98	31,25	-16,42	24,98	-17,60	65
15,06	-13,60	-6,93	34,39	31,48	-16,71	24,89	-16,89	70
15,16	-14,04	-8,26	34,55	31,51	-17,11	24,90	-17,25	75
15,43	-14,37	-10,06	34,69	31,53	-17,62	24,72	-17,55	80
15,70	-14,49	-11,57	34,93	31,73	-17,87	24,69	-17,81	85
15,86	-14,66	-12,53	35,13	31,90	-18,12	24,77	-18,15	90
15,85	-14,83	-13,35	35,33	32,09	-17,91	25,49	-18,68	95
16,54	-14,82	-13,55	35,62	32,24	-18,29	24,90	-18,15	100
16,70	-15,01	-13,95	35,66	32,21	-18,98	24,31	-18,32	105
16,72	-15,22	-14,52	35,72	32,37	-18,65	25,11	-18,43	110
16,93	-15,30	-14,68	35,84	32,46	-18,95	24,81	-18,37	115
16,88	-15,48	-15,08	35,88	32,52	-18,73	25,42	-18,59	120
17,07	-15,49	-15,31	35,99	32,61	-18,85	25,37	-18,59	125
17,01	-15,58	-15,63	36,05	32,76	-18,70	25,81	-18,87	130
16,51	-15,73	-16,36	35,98	33,05	-18,34	26,71	-19,60	135
16,88	-15,55	-16,34	36,18	33,39	-17,93	27,30	-19,39	140
17,25	-15,42	-16,04	36,43	33,54	-17,75	27,50	-19,10	145
17,27	-15,48	-15,83	36,37	33,43	-17,97	27,10	-18,93	150
17,93	-15,30	-14,97	36,60	33,51	-17,79	27,36	-18,24	155
17,88	-15,48	-15,06	36,56	33,41	-18,20	26,80	-18,32	160
17,20	-15,98	-16,24	36,17	33,32	-18,11	27,32	-18,92	165
17,08	-16,12	-16,64	35,98	33,31	-17,71	27,80	-19,01	170
17,12	-16,18	-17,07	35,90	33,21	-17,66	27,81	-18,97	175

### Lampiran 7

Tabel hasil pengujian dengan beban **50 mL Cascade**

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
15,11	21,49	27,86	35,12	32,05	15,73	24,67	15,11	5
14,76	10,66	21,86	34,23	31,17	5,87	24,09	4,78	10
14,45	3,16	15,49	33,50	30,59	-0,74	23,86	-2,07	15
14,76	-2,03	10,00	32,93	30,14	-5,32	23,66	-6,85	20
14,77	-5,36	5,67	32,48	29,74	-8,40	23,40	-10,01	25
15,04	-7,82	1,81	32,39	29,56	-10,47	22,68	-12,16	30
15,97	-9,32	-1,08	32,47	29,64	-11,91	21,55	-13,34	35
16,23	-10,96	-3,37	32,49	29,65	-13,39	21,40	-14,77	40
16,49	-12,32	-5,30	32,40	29,50	-14,66	21,40	-15,99	45
16,58	-13,41	-6,68	32,39	29,26	-15,79	21,33	-16,95	50
16,73	-14,38	-7,94	32,35	29,44	-16,56	21,18	-17,93	55
16,87	-15,12	-8,44	32,47	29,47	-17,30	21,28	-18,64	60
17,02	-15,72	-9,33	32,59	29,44	-17,80	21,34	-19,20	65
17,09	-16,21	-9,99	32,64	29,48	-18,31	21,36	-19,65	70
17,14	-16,65	-10,55	32,62	29,51	-18,70	21,32	-20,03	75
17,09	-17,04	-11,18	32,61	29,51	-18,99	21,32	-20,32	80
17,09	-17,36	-12,15	32,62	29,37	-19,30	21,30	-20,61	85
17,17	-17,54	-12,68	32,68	29,37	-19,51	21,31	-20,81	90
17,15	-17,82	-13,24	32,68	29,34	-19,91	21,32	-20,94	95
17,15	-18,08	-13,73	32,69	29,45	-19,98	21,33	-21,35	100
15,92	-18,20	-14,18	32,82	29,65	-20,03	21,51	-21,32	105
15,25	-18,38	-14,56	32,83	29,62	-20,18	21,92	-21,59	110
14,65	-18,35	-14,92	33,06	29,88	-20,13	21,66	-21,44	115
16,31	-18,41	-15,30	33,26	30,06	-20,16	21,86	-21,38	120
17,82	-18,42	-15,62	33,44	30,30	-20,13	22,05	-21,37	125
18,03	-18,44	-15,90	33,59	30,40	-20,16	22,16	-21,29	130
18,23	-18,42	-16,22	33,71	30,49	-20,10	22,32	-21,29	135
18,37	-18,42	-16,45	33,84	30,54	-20,07	22,58	-21,28	140
17,83	-18,92	-16,61	33,47	29,91	-20,95	22,50	-22,37	145
17,47	-18,51	-16,85	33,78	30,12	-20,44	22,21	-21,65	150
16,15	-18,56	-17,03	33,71	29,89	-21,12	20,81	-22,21	155
17,82	-18,57	-17,17	33,81	29,97	-21,22	20,84	-22,32	160
18,33	-18,44	-17,37	33,96	30,14	-21,12	20,69	-22,22	165
18,50	-18,31	-17,46	34,06	30,21	-20,87	21,00	-21,90	170
18,68	-18,22	-17,62	34,16	30,18	-20,93	21,05	-21,67	175

### Lampiran 8

Tabel hasil pengujian dengan beban 0 mL Cascade

Ambient	Cold Sink	Cabin	P2 Hot	P1 Hot	P1 Cold	Heat Pipe	P2 Cold	Menit
17,69	22,22	25,69	36,88	34,08	16,18	26,64	16,02	5
17,99	11,56	17,67	37,01	34,01	6,83	27,02	5,97	10
18,29	4,23	11,24	36,52	33,48	0,35	26,88	-0,91	15
18,44	-1,01	5,80	36,14	33,19	-4,23	26,90	-5,73	20
18,35	-4,66	1,72	35,77	32,70	-7,31	26,58	-9,03	25
18,31	-7,63	-2,45	35,60	32,63	-9,90	26,70	-11,61	30
18,47	-10,13	-5,44	35,44	32,54	-12,04	26,77	-13,87	35
18,84	-11,86	-7,82	35,56	32,56	-13,53	26,87	-15,22	40
19,28	-13,02	-9,70	35,70	32,55	-14,69	26,93	-16,18	45
19,38	-14,07	-10,96	35,65	32,66	-15,50	27,14	-17,12	50
19,55	-14,78	-12,23	35,74	32,77	-16,10	27,26	-17,36	55
19,25	-15,69	-13,94	35,41	32,63	-16,67	27,19	-18,55	60
19,21	-16,16	-14,90	35,29	32,51	-17,16	27,10	-18,95	65
19,81	-16,13	-15,34	35,66	32,62	-17,45	27,21	-18,37	70
19,85	-16,49	-16,44	35,75	32,75	-17,62	27,39	-18,64	75
20,17	-16,57	-16,34	35,92	32,83	-17,78	27,50	-18,55	80
20,21	-16,90	-16,97	35,98	33,08	-17,79	27,79	-18,73	85
20,31	-17,01	-16,78	35,99	32,97	-18,05	27,74	-18,74	90
20,39	-17,08	-16,79	36,00	32,96	-18,22	27,71	-19,03	95
20,33	-17,24	-17,03	35,99	33,14	-18,06	27,91	-19,13	100
20,34	-17,24	-16,75	35,95	32,87	-18,35	27,57	-18,93	105
20,19	-17,36	-16,77	35,81	32,67	-18,54	27,37	-19,07	110
19,95	-17,51	-16,85	35,51	32,38	-18,77	27,04	-19,41	115
19,85	-17,58	-17,13	35,37	32,31	-18,80	27,03	-19,71	120
19,70	-17,62	-17,09	35,42	32,58	-18,49	27,34	-19,59	125
19,74	-17,60	-17,11	35,42	32,61	-18,45	27,37	-19,47	130
19,66	-17,68	-17,41	35,34	32,42	-18,64	27,17	-19,68	135
19,78	-17,69	-17,25	35,34	32,36	-18,73	27,11	-19,63	140
19,68	-17,78	-17,62	35,31	32,41	-18,65	27,20	-19,77	145
19,56	-17,86	-17,82	35,18	32,32	-18,71	27,13	-19,90	150
19,69	-17,84	-17,41	35,29	32,04	-19,19	26,68	-19,83	155
19,78	-17,84	-17,41	35,33	32,03	-19,23	26,70	-19,66	160
19,77	-17,83	-17,44	35,36	32,23	-19,04	27,02	-19,55	165
19,59	-17,95	-17,54	35,41	32,79	-18,42	27,65	-19,37	170
19,38	-18,15	-17,74	35,16	32,64	-18,49	27,48	-19,61	175