



TUGAS AKHIR - SF 141501

**RANCANG BANGUN *COOLER BOX* PEMBAWA  
VAKSIN *PORTABLE* DENGAN PEMANFAATAN  
THERMOELECTRIC COLLER (TEC)**

Pandu Sakti Adrianto  
NRP 0111114000076

Dosen Pembimbing  
Bachtera Indarto, M.Si

Departemen Fisika  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**RANCANG BANGUN COOLER BOX PEMBAWA  
VAKSIN *PORTABLE* DENGAN PEMANFAATAN  
THERMOELECTRIC COLLER (TEC)**

Pandu Sakti Adrianto  
NRP 0111114000076

Dosen Pembimbing  
Bachtera Indarto, M.Si

Departemen Fisika  
Fakultas Sains  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**DESIGN AND BUILD PORTABLE VACCINE CARRIER  
USING THERMOELECTRIC COLLER (TEC)**

Pandu Sakti Adrianto  
NRP 0111114000076

Advisor  
Bachtera Indarto, M.Si

Department of Physics  
Faculty of Science  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**RANCANG BANGUN *COOLER BOX* PEMBAWA  
VAKSIN *PORTABLE* DENGAN PEMANFAATAN  
*THERMOELECTRIC COOLER (TEC)***

**TUGAS AKHIR**

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah  
Tugas Akhir Program Strata 1  
Departemen Fisika  
Fakultas Sains dan Analitika Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PANDU SAKTI ADRIANTO  
NRP. 0111114000076

Disetujui oleh tim pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing I  
Drs. Bachtera Indarto, M.Si  
NIP. 1961040199102.1.001

()





**RANCANG BANGUN *COOLER BOX* PEMBAWA  
VAKSIN *PORTABLE* DENGAN PEMANFAATAN  
*THERMOELECTRIC COOLER (TEC)***

**Nama** : Pandu Sakti Adrianto  
**NRP** : 0111114000076  
**Jurusan** : Fisika, Fakultas Sains  
**Pembimbing** : Bachtera Indarto, M.Si

**Abstrak**

Telah dibuat box pembawa vaksin dengan menggunakan *Thermoelectric Cooler* sebagai pendingin yang menggantikan *icepack* dan ramah lingkungan. Pendingin termoelektrik berupa 4 peltier yang disusun sejajar dan *waterblock* beserta radiator sebagai pembuang panas. Dari hasil dan analisa data didapatkan temperatur kabin tanpa beban dicapai temperatur 0°C pada menit ke-55, pada waktu yang sama untuk beban 500mL dicapai temperatur 2,28°C, untuk beban 1000mL dicapai temperatur 5,46°C, dan untuk beban 2000mL dicapai temperatur 12,9°C. Data ini berdasarkan suhu lingkungan yang berkisar 25,99°C. Daya total yg dibuuhkan oleh sistem sebesar 192 Watt. Berdasarkan data dapat disimpulkan bahwa box vaksin ini efektif digunakan dengan pembebanan maksimal 1000mL.

**Kata kunci** : *Cool box, Termoelektrik, Ramah lingkungan, Vaksin*





## **DEVELOPMENT BOX COOLERS TO PORTABLE VACCINE BEARER USING OF THERMOELECTRIC COOLER (TEC)**

**Name** : Pandu Sakti Adrianto  
**NRP** : 01111140000076  
**Major** : Physics, Science Department-ITS  
**Advisor** : Drs. Bachtera Indarto, M.Si

### **Abstrak**

Vaccine presenting boxes were produced by the use of thermoelectric coolers as cooler. Which replaced the icepack and was environmentalized. A thermoelectric cooler of four parallel peltier and waterblock arranged along with radiator as a heat outer. This research uses thermoelectric in the form of 4 parallel peltiers and waterblock and radiator as heat dischargers. Data analytics were gained to direct unencumbered cabin controls by 0oc temperatures in the 55 minutes at the same time for 500ml loads to be reached by 2,28°C temperature. For 1000mL load to be achieved at 5,46°C temperature and for the 2000mL load to be reached 12,9°C temperature. The data is based on environmental temperatures that range from 25,99°C. The total power diffused by a system of 192 watts. Based on data, this vaccine box was effectively used data maximum of 1000ml.

**Keywords** : *Cool Box, Thermoelectric, Environmental friendly, Vaccine*



## **KATA PENGANTAR**

Tugas Akhir (TA) ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini ditulis dengan judul :

### **“RANCANG BANGUN *COOLER BOX* PEMBAWA VAKSIN *PORTABLE* DENGAN PEMANFAATAN *THERMO ELECTRIC COOLER (TEC)*”**

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu penyusunan laporan Tugas Akhir (TA) dan proses penelitiannya.

1. Kedua orang tua tercinta yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil sampai sekarang ini.
2. Kepada istri, saudara, keluarga dan teman-teman.
3. Bapak Drs. Bachtera Indarto, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan dan petunjuk dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Departemen Fisika FSains-ITS yang telah memberikan dukungan dan ilmunya kepada penulis.
5. Kepada teman-teman Fisika ITS yang telah menemani perjalanan penulis selama menjalani studi.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Surabaya, Januari 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>.. i</b>
<b>COVER PAGE .....</b>	<b>.. ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>..v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>. xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>.xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>...1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....	3

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pendingin Termoelektrik .....	5
2.1.1. Sejarah Peltier.....	5
2.1.2. Prinsip Kerja Termoelektrik .....	5
2.1.3. Parameter Penggunaan Elemen termoelektrik.....	7
2.1.4. Komponen dasar Pendingin Termoelektrik.....	8
2.1.5. Aplikasi Termoelektrik secara garis besar.....	10
2.2. Perpindahan Kalor .....	11
2.2.1. Perpindahan Kalor Konduksi.....	11
2.2.2. Perpindahan Kalor Konveksi.....	12
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>13</b>
3.1. Alat Dan Bahan.....	13
3.2. Peosedur Eksperimen.....	13
3.2.1. Perancangan Umum Sistem.....	13
3.2.2. Design Alat.....	15
3.2.3. Pengujian Alat .....	17
3.2.4. Pengambilan Data.....	17
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>19</b>
4.1 Hasil dan Analisa.....	19
4.2 Analisa Grafik Distribusi Temperatur Tanpa Beban .....	19
4.3 Analisa Grafik Temperatur <i>cabin</i> Dengan Beban.....	20
4.4 Analisa Kalor Yang Hilang.....	22
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>25</b>
5.1 Kesimpulan.....	25
5.2 Saran .....	26

<b>BIBLIOGRAPHY .....</b>	<b>27</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>29</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>53</b>





## **DAFTAR TABEL**



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema aliran peltier .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Arah aliran elektron pada modul termoelektrik ...	7
<b>Gambar 2.2</b>	Profil temperatur modul TEC .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Susunan dasar sistem pendingin termoelektrik....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Beberapa susunan sistem termoelektrik .....	9
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian.....	14
<b>Gambar 3.2</b>	Skema alat .....	15
<b>Gambar 3.3</b>	Susunan selang pada <i>waterblock</i> .....	16
<b>Gambar 3.4</b>	Susunan <i>peltier</i> , <i>waterblock</i> dan <i>coldsink</i> .....	16
<b>Gambar 3.5</b>	Metode pengambilan data .....	17
<b>Grafik 4.1</b>	Distribusi temperatur dengan variasi tegangan untuk beban kosong .....	20
<b>Grafik 4.2</b>	Ruang box dan <i>coldside</i> untuk berbagai variasi beban.....	21
<b>Grafik 4.3</b>	$\Delta T$ <i>Heat Sink</i> dan <i>peltier</i> dengan beberapa variasi beban.....	22
<b>Gambar 4.4</b>	Skematik isolasi <i>Cool Box</i> secara 2 dimensi.....	23



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Tabel 1.</b> Data pengukuran tanpa beban dengan 8V.....	29
<b>Tabel 2.</b> Data pengukuran tanpa beban dengan 12V.....	33
<b>Tabel 3.</b> Data pengukuran dengan beban 500mL.....	37
<b>Tabel 4.</b> Data pengukuran dengan beban 1000mL.....	41
<b>Tabel 5.</b> Data pengukuran dengan beban 2000mL.....	45
<b>Perhitungan Kalor yang Hilang</b> .....	49



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kesehatan merupakan kebutuhan agar dapat beraktivitas dengan baik. Namun banyak hal yang dapat mengakibatkan manusia terkena penyakit. Dari penyakit ringan hingga berat. Untuk pencegahan agar tidak terkena penyakit salah satu cara adalah dengan pemberian vaksin.

Vaksin sendiri adalah bahan antigenetik yang digunakan untuk membentuk kekebalan terhadap suatu bakteri atau virus sehingga dapat mencegah atau mengurangi infeksi oleh organisme alaminya. Vaksin berupa virus atau bakteri yang dilemahkan atau bagiannya yang telah dimurnihkan, sehingga sistem imun tubuh dapat mempersiapkan diri untuk melawan serangan dari organisme sebenarnya. Dalam penyimpanannya, vaksin memerlukan suhu yang rendah. Kebanyakan penyimpanan vaksin menggunakan kompresor pendingin untuk menjaga suhu vaksin tetap berada di suhu yang dibutuhkan.

Kompresor pendingin umumnya masih menggunakan freon sebagai *refrigerant*, yang mana freon sendiri adalah cairan yang tidak ramah lingkungan. Selain itu kompresor pendingin cukup sulit diterapkan dalam skala kecil. Sehingga dalam pendistribusian vaksin kurang dapat menjangkau ke daerah-daerah yang tidak dapat dijangkau dengan kendaraan besar. Sehingga dibutuhkan alternatif lain selain kompresor pendingin yang lebih ramah lingkungan serta dapat diaplikasikan dalam skala kecil. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah *Thermoelectric cooler* (TEC).

Pendingin Termoelektrik untuk menghantarkan panas memanfaatkan arus listrik yang melewati komponen PN Junction dalam TEC. TEC juga memiliki ukuran yang kecil, sehingga lebih mudah diaplikasikan pada skala kecil. Ketika arus listrik melewati TEC, maka akan terbentuk sisi dingin pada satu sisi dan sisi panas

pada sisi satunya. Untuk membuang kalor pada sisi panas TEC, dibutuhkan alat bantu agar kalor bisa lebih cepat terbang ke udara luar. Maka dibutuhkan penelitian untuk mencari bagaimana cara pembuangan panas TEC yang efisien dari segi kecepatan penurunan suhu target dan daya yang dibutuhkan untuk mencapainya.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Rumusan masalah yang ada pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Berapa daya yang diperlukan untuk tetap mencapai suhu  $2^{\circ}$ - $8^{\circ}$  C dalam kotak pendingin?
2. Berapa energi yang dibutuhkan untuk menstabilkan suhu dalam kotak pendingin?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui daya yang diperlukan untuk tetap mencapai suhu  $2^{\circ}$ - $8^{\circ}$  C dalam kotak pendingin.
2. Mengetahui energi yang dibutuhkan untuk menstabilkan suhu dalam kotak pendingin.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dan objek dalam penelitian tugas akhir antara lain:

1. Elemen *peltier* dan *waterblock* radiator digunakan dalam rancang bangun *Cool Box*.
2. Input arus yang digunakan DC 8V dan 12V.
3. Volume *cool box* 10 liter.



### **1.5 Manfaat penelitian**

Manfaat yang akan didapat dari penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Dapat dijadikan salah satu pilihan untuk melakukan pengiriman vaksin dalam waktu yang lebih lama daripada menggunakan *icepack*. Diharapkan bisa lebih membantu pengiriman vaksin didaerah pedalaman.

### **1.6 Sistematika Penulisan Laporan**

Penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi tentang gambaran umum keseluruhan dari penelitian ini. Bab I merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan terakhir sistematika penulisan. Bab II adalah tinjauan pustakan yang berisi tentang dasar teori yang melandasi penelitian ini serta sebagai acuan dari penelitian ini. Bab III berisi metodologi penelitian. Bab IV berisi hasil penelitian dan pembahasan. Bab V berisi kesimpulan dan saran.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. 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 pada dua buah logam yaitu fenomena efek joule, efek fourier, efek seebeck, efek peltier dan efek thomson.

##### **2.1.1. 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. termoelektrik ini digunakan pada sistem pengkondisian ruangan (AC) dan sistem pendingin.

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

##### **2.1.2. 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), seperti ditunjukkan Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Skema aliran peltier

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa ketika semikonduktor tipe p dan tipe n dialiri arus maka akan mengakibatkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan). 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 elemen 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 :

$$Q_h = Q_c + P_{in}$$

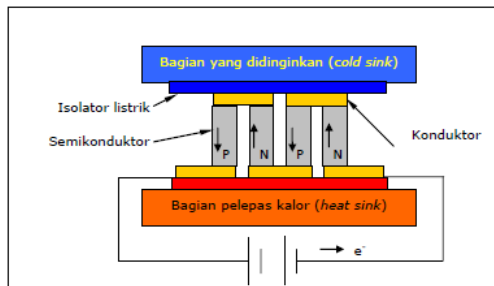
Dimana :

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

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

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

Aliran elektron didalam peltier digambarkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



**Gambar 2.2** Arah aliran elektron pada modul termoelektrik

Gambar 2.2 menunjukkan 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.

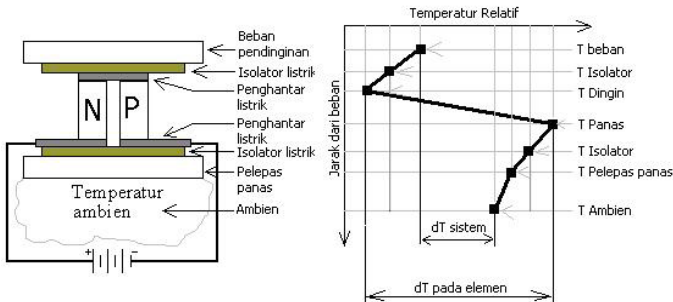
### 2.1.3. Parameter Penggunaan Elemen Termoelektrik

Penggunaan elemen termoelektrik terdapat tiga parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu:

- 1) Temperatur Permukaan Sisi Panas Peltier/hot side ( $T_h$ )
- 2) Temperatur Permukaan Sisi Dingin Peltier/Cold Side ( $T_c$ )
- 3) Beban kalor yang dapat ditransfer dari kompartemen dingin ( $Q_c$ ) dipanas modul, yaitu:

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

Perbedaan temperatur pada pelier sangat berpengaruh pada performa peltier. Profil perbedaan suhu ditunjukkan oleh Gambar 2.3.

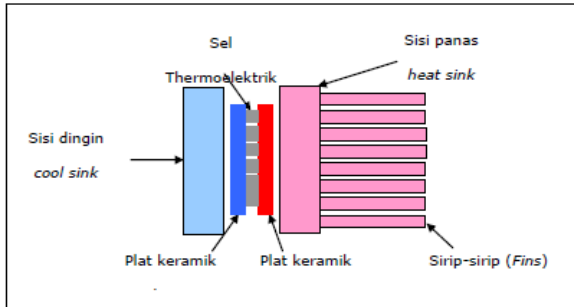


**Gambar 2.3** Profil temperatur modul TEC

Gambar 2.3 menunjukkan profil temperatur sistem termoelektrik. Ada 2  $\Delta T$  temperatur yaitu  $\Delta T$  sistem dan  $\Delta T$  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.

#### 2.1.4. Komponen Dasar Sistem Pendingin Termoelektrik

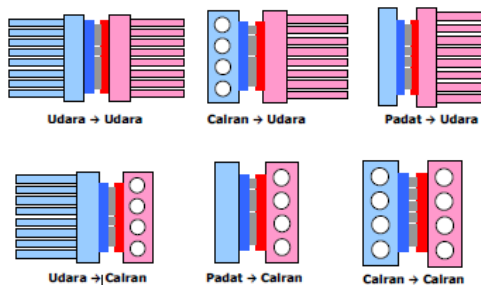
Pendingin termoelektrik memerlukan *heat sink* yang berfungsi untuk menyerap kalor pada sisi dingin elemen peltier maupun membuang kalor pada sisi panas peltier. Susunan dasar pendingin termoelektrik setidaknya terdiri dari elemen peltier dan *heat sink* baik pada sisi dingin elemen peltier maupun sisi panas, seperti ditunjukkan gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Susunan dasar sistem pendingin termoelektrik.

Gambar 2.4 dapat dilihat 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. 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.

Ada beberapa macam susunan pendingin termoelektrik dengan berbagai macam kombinasi seperti pada Gambar 2.5



**Gambar 2.5** Beberapa susunan sistem termoelektrik

Gambar 2.5 diatas memberikan beberapa kombinasi penyaluran panas dan dingin pada peltier. Pada gambar pertama dapat dilihat kedua sisi peltier penyaluran panas dan dingin sama sama menggunakan tipe *heatsink* sirip yg memanfaatkan udara. Dan itu yg sering diaplikasikan saat ini karena bisaya terjangkau dan lebih efisien dibandingkan hanya berupa plat biasa. Sedangkan pada model lain ada yg menggunakan cairan untuk menyalurkan panas dan pnas tersebut dikeluarkan melalui radiator. Kombinasi ini cukup efisien dalam membuang panas dari sisi panas peltier, namun kekurangannya adalah biaya yg cukup tinggi untuk kombinasi ini sehingga jarang digunakan.

#### 2.1.5. 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.

Aplikasi termoelektrik sebagai alat seperti 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.

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. Sedangkan kelemahan termoelektrik 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.

## 2.2. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor yang terjadi pada *cool box* ada dengan cara konduksi dan konveksi.

### 2.2.1. Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan kalor/panas tanpa diikuti 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, yaitu:

$$q = -kA \frac{T_0 - T_1}{\Delta x}$$

Untuk mencari nilai tahanan thermal dari suatu material padatan digunakan rumus,

$$R_T = \frac{T_0 - T_1}{q} = \frac{l}{kA}$$

Dimana:

q = Energi kalor [Watt]

k = Konduktivitas thermal [W/m.K]

A = Luas permukaan [m<sup>2</sup>]

Δx= Tebal penampang permukaan [m]

T<sub>1</sub> = Temperatur yang lebih rendah [K]

R<sub>T</sub> = Tahanan Termal [K/W.m]

T<sub>0</sub> = Temperatur yang lebih tinggi [K]

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

### 2.2.2. 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 terjadi apabila pergerakan fluida dikarenakan gaya (*buoyancy force*) akibat perbedaan densitas fluida tersebut. Perbedaan kerapatan itu sendiri biasa 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:

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

Dimana:

q = Energi kalor [W]

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi [W/m<sup>2</sup>.K]

A = Luas area permukaan [m<sup>2</sup>]

T<sub>s</sub> = Temperatur permukaan [K]

T<sub>∞</sub> = Temperatur ambient [K]

## **BAB III METODOLOGI**

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang sistem yang dapat digunakan untuk menyimpan dan membawa vaksin dengan bentuk yg portable.

### **3.1 Alat dan bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- |                      |                  |
|----------------------|------------------|
| a. Peltier TEC-12706 | k. Pompa air DC  |
| b. Cooler Box        | l. Heatsink      |
| c. Modul Thermostat  | m. Air Radiator  |
| d. Relay             | n. Selang        |
| e. PC Radiator       | o. Laptop        |
| f. Kabel             | p. Thermal paste |
| g. PCB               | q. Mur dan baut  |
| h. Multimeter        | r. Waterblock    |
| i. Powersupply DC    | s. Resistor      |
| j. LCD Module        | t. dll,          |

### **3.2 Prosedur Eksperimen**

#### **3.2.1 Perancangan Umum Sistem**

Perancangan sistem secara umum terbagi menjadi dua bagian yaitu pembuatan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). Untuk sistem perangkat keras (hardware) meliputi perancangan sistem pendingin dan alat ukur yang terdiri dari rangkaian sensor tegangan, sensor arus, rangkaian sensor suhu.

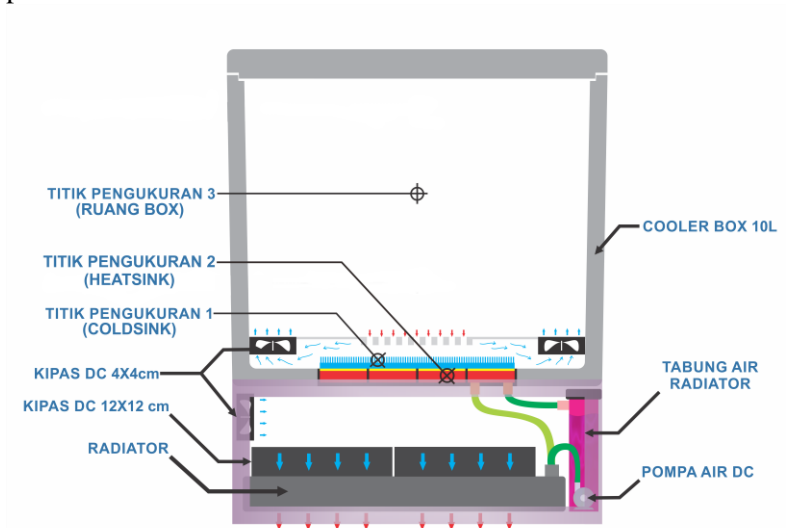


**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.2.1 Perancangan Alat

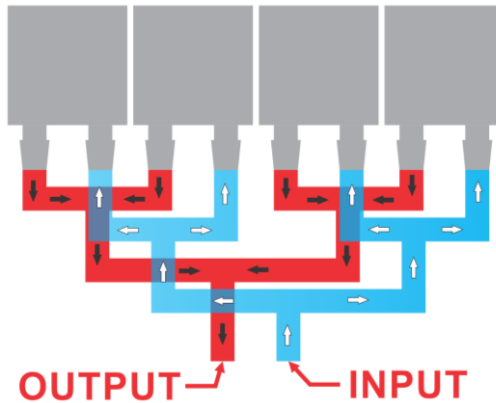
#### a. Design Box Pendingin

Box yang digunakan dalam rancangan alat ini berkapasitas 10L. Dengan modifikasi di bagian bawah box ditambahkan sistem pendingin dengan menggunakan pendingin ermoelektrik, seperti pada Gambar 3.2.



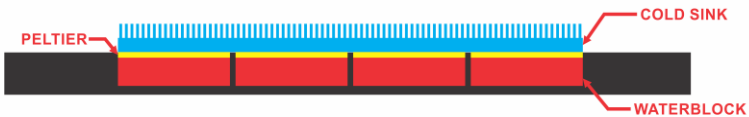
**Gambar 3.2** Skema alat

Gambar 3.2 alat dirancang dengan skema seperti pada gambar, dengan menempatkan 4 *peltier* secara sejajar dan titik pengukuran seperti pada gambar untuk mengetahui suhu ruang, suhu *coldsink* dan suhu *heatsink*. Berikut juga pemasangan selang pada *waterblock* dirancang supaya aliran air bisa merata ke 4 buah *waterblock* seperti pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Susunan selang pada *waterblock*

Gambar 3.3 diatas pemasangan selang pada *waterblock* dirancang supaya aliran air bisa merata ke 4 buah *waterblock*. Penyusunan sistem pendingin pada sistem ini digambarkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Susunan *peltier*, *waterblock* dan *coldsink*

Gambar 3.4 menggambarkan susunan *peltier*, sisi dingin *peltier* ditempel pada *coldsink* dan sisi panas *peltier* ditempel pada *waterblock* sebagai penyerap panas yang nantinya dibuang melalui radiator.

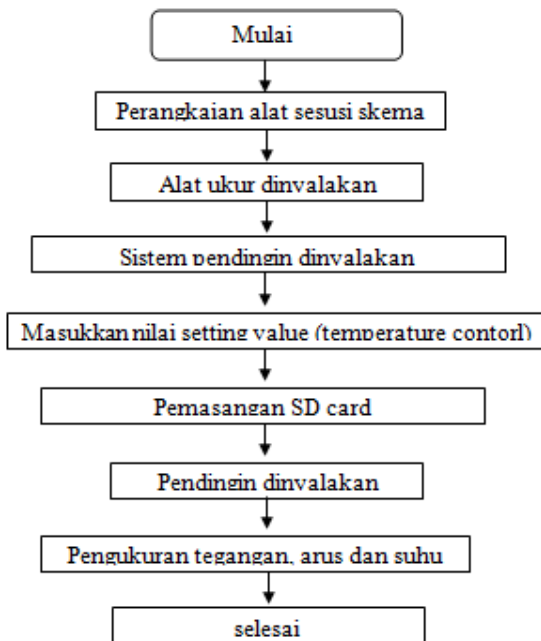
### 3.2.2 Pengujian Alat

Sebelum peralatan digunakan, terlebih dahulu dilakukan pengujian performa alat yang meliputi:

- a. Karakteristik persebaran dingin
- b. Karakteristik waktu pendinginan
- c. Karakteristik sensor suhu

### 3.1. Pengambilan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data karakterisasi pendingin termoelektrik tipe TEC-12706 dengan alat telah dirancang. Metode pengambilan data akan dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Metode pengambilan data

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab IV ini dilakukan analisa dari hasil pengukuran yang tahapannya telah dijelaskan pada babIII, dari pengukuran tersebut didapatkan hasil:

#### **4.1 Hasil dan Analisa**

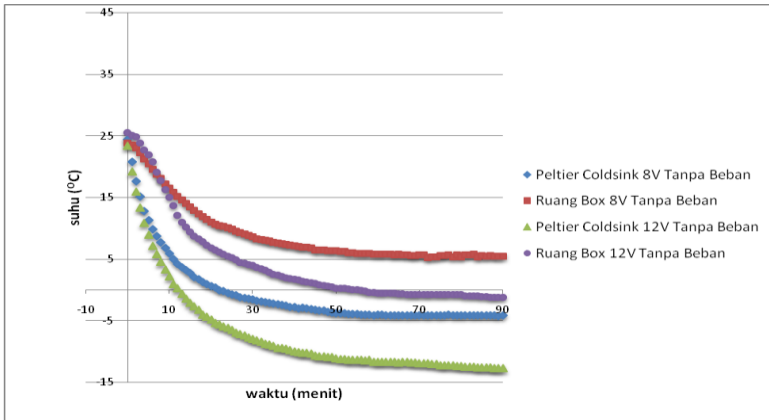
Data dan analisa hasil pengujian *cool box* yang dilengkapi *waterblock* dan radiator. Penyajian data yang diperoleh akan digambarkan dalam grafik berupa penurunan temperatur terhadap waktu pendinginan.

*Cool box* selalu difungsikan dengan *setting* yang tetap ketika dilakukan pengambilan data, pompa dan kipas selalu dioperasikan dengan tegangan 12 volt. Ada dua variasi pengujian yaitu tegangan 8 volt dan 12 volt dan juga pembebanan dengan 1 liter dan 2 liter air.

Lamanya pengambilan pada saat pengujian adalah 90 menit. Data akuisisi menghasilkan diambil setiap satu menit, dengan variasi tegangan dan pembebanan yg berbeda-beda. Dan data tersebut didapatkan pada suhu sekitar box didapatkan rata-rata sebesar 25,99<sup>o</sup>C.

#### **4.2 Analisa Grafik Distribusi Temperatur Tanpa Beban**

Data yg telah didapatkan diolah menjadi grafik dengan bantuan komputer dan didapathan grafik. Berikut ini diperlihatkan data temperatur dari berbagai titik pengujian dengan berbagai variasi tegangan.



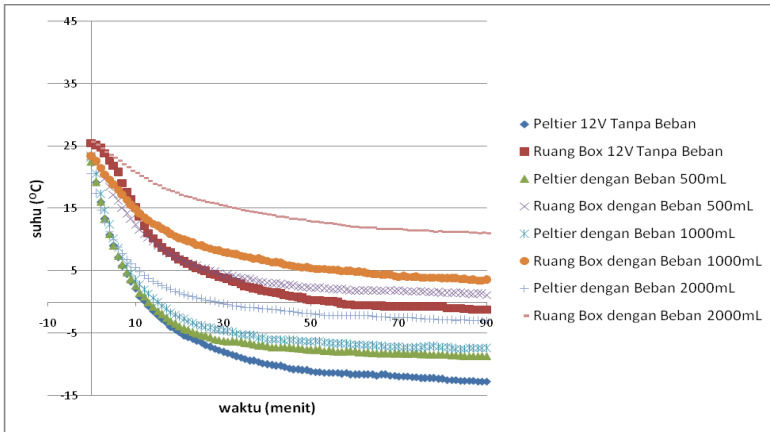
**Grafik 4.1** Distribusi Temperatur dengan variasi tegangan untuk beban kosong

Grafik 4.1 dapat dilihat hampir semua titik pengujian memperlihatkan penurunan temperatur yang hampir sama. Penggunaan tegangan 8V pada *cool box* menyebabkan penurunan suhu *cabin* relatif lebih lambat. Untuk mencapai suhu *cabin* sebesar 0°C pada tegangan 12V dibutuhkan waktu sekitar 55 menit, sedangkan pada 8V untuk waktu yang sama temperaturnya sekitar 6°C.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa besarnya tegangan sangat berpengaruh terhadap kerja pendinginan yang dilakukan peltier. Penambahan tegangan berarti kerja peltier akan optimal tetapi tidak boleh melebihi batas tegangan yang diijinkan.

### 4.3 Analisa Grafik Temperatur *Cabin* Dengan Beban

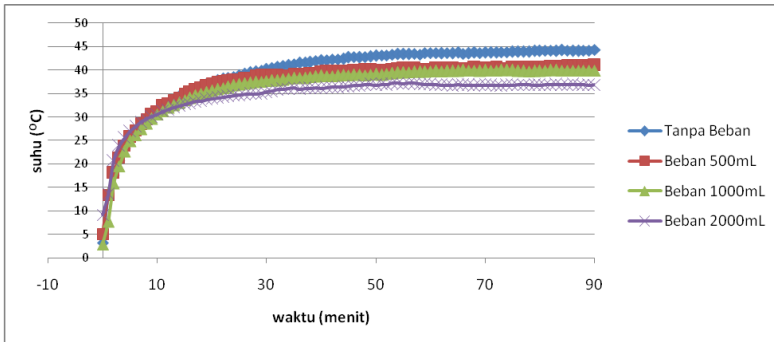
Data temperatur dari berbagai titik pengujian dengan menggunakan pembebanan. Variasi beban yang digunakan adalah 500mL, 1000mL dan 2000mL dengan menggunakan air mineral.



**Grafik 4.2** Ruang box dan *coldside* untuk berbagai variasi beban

Grafik 4.2 menunjukkan hampir semua titik pengujian memperlihatkan penurunan temperatur yang hampir sama. Pembebanan maksimum pada *cool box* menyebabkan penurunan suhu *cabin* relatif lebih lambat. Untuk menit ke-40 pada ruang box tanpa beban dicapai temperatur 1,71°C, untuk beban 500mL dicapai temperatur 3,12°C, untuk beban 1000mL dicapai temperature 6,59°C, dan untuk beban 2000mL dicapai temperatur 14,03°C. Kemudian dapat dilihat untuk menit ke-50 pada ruang box tanpa beban dicapai temperatur 0,31°C, untuk beban 500mL dicapai temperatur 2,28°C, untuk beban 1000mL dicapai temperatur 5,46°C, untuk beban 2000mL dicapai temperatur 12,9°C.

Dapat disimpulkan bahwa pembebanan sangat berpengaruh terhadap kerja pendinginan yang dilakukan *peltier*. Penambahan beban berarti penambahan jumlah kalor yang harus diserap oleh sisi dingin *peltier*. Karena *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.

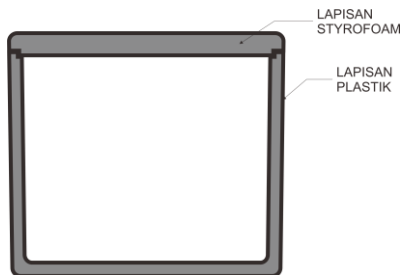


**Grafik 4.3**  $\Delta T$  Heatsink dan Peltier dengan beberapa variasi beban

Grafik 4.3 berfungsi untuk mengetahui kinerja dari peltier itu sendiri, dapat dilihat untuk beban kosong pada menit ke-30 nilai  $\Delta T$ -nya  $40,23^{\circ}\text{C}$ , untuk beban 500mL dicapai temperatur  $38,84^{\circ}\text{C}$ , untuk beban 1000mL dicapai temperatur  $37,71^{\circ}\text{C}$ , dan untuk beban 2000mL dicapai temperatur  $35,36^{\circ}\text{C}$ . Dari menit awal sampai menit ke-60 terjadi kenaikan nilai  $\Delta T$ , setelah menit ke-60 nilai  $\Delta T$  mulai stabil pada nilai rata-rata  $40^{\circ}\text{C}$ . Nilai  $\Delta T$  menunjukkan kinerja dari elemen peltier.

#### 4.4 Analisa Kalor Yang Hilang

*Coolbox* yang matrialnya terdiri dari material yg berbeda didalamnya mempunyai ketahanan termal yang berbeda pula, berikut Gambar 4.4 mengenai skema isolasi pada *coolbox*.



**Gambar 4.4** Skematik isolasi *Cool Box* secara 2 dimensi

Gambar 4.4 menunjukkan isolasi 2 dimensi dari box pendingin maka dapat diketahui tahanan termalnya. Didapatkan dari hasil perhitungan besarnya kalor yang hilang pada box tersebut sebesar -13,53 Watt. Beban transmisi yg didapat dari hasil perhitungan sebesar 3,391 Watt dan beban pendinginan total sebesar 29,94 Watt. Dari hasil tersebut dijumlahkan dan didapataka beban total sebesar 45,86 Watt.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari pembuatan alat setelah dirakit sesuai dengan *design* dan diukur ini maka bisa disimpulkan bahwa:

1. Hasil yang dicapai pada penelitian di laboratorium, untuk temperatur kabin tanpa beban dicapai temperatur 0°C pada menit ke-50, dan pada waktu yang sama untuk beban 500mL dicapai temperatur 2°C, untuk beban 1000mL dicapai temperatur 5,46°C, untuk beban 2000mL dicapai temperatur 12,9°C. Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa yang memenuhi target adalah dengan beban 500mL sampai dengan 1000mL, atau dapat dikatakan *coolerbox* ini dapat optimal bekerja ketika beban maksimal 1000ml.
2. Daya yg dibutuhkan keseluruhan dari rancangan alat ini adalah 192 Watt dengan tegangan 12 Volt

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil percobaan dari desain ini, maka terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk mendesain cool box selanjutnya, yaitu:

1. Sistem pendinginan yang ada disisi panas lebih dimaksimalkan untuk mendapatkan dingin yang maksimal
2. Perbaiki sistem isolator.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Danardono AS, Nandy Putra dan Rita Maria Veranika, Perancangan dan Pengembangan Vaccine Carrier Box Menggunakan Model Design For Assembly (DFA), (JURNAL TEKNOLOGI, Edisi No. 1 Tahun XXII, Maret 2008, 9-14 ISSN 0215-1685)
- [2] Nandy Putra, "Design, Manufacturing and Testing of A Portable Vaccine Carrier Box Employing Thermoelectric Module and Heat Pipe, *Journal of Medical engineering and Technology*"
- [3] Nandy Putra, Pattas P.Siregar, R.A Koestoer, Pengembangan "Vaccine Carrier" Dengan Memanfaatkan Efek Peltier, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin III Universitas Hasanuddin Makasar 6-7 Desember 2004.
- [4] 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.
- [5] S.B. Riffat, Xiaoli Ma (2003). "Thermoelectric: a review of present and potential applications". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 913-935.
- [6] 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

- [7] 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.*

## LAMPIRAN

Tabel 1. Data Pengukuran Tanpa Beban dengan 8V

No	Waktu (menit)	Suhu Luar Box	Tanpa Beban 8v	
			Suhu Peltier	Suhu Ruang
1	0	24,47	24,37	23,79
2	1	25,47	20,82	23,51
3	2	25,10	17,63	23,09
4	3	25,13	15,18	22,26
5	4	25,28	12,73	21,28
6	5	25,34	11,28	20,44
7	6	24,84	9,85	19,61
8	7	26,23	8,76	18,77
9	8	24,65	7,73	18,07
10	9	23,94	6,79	17,23
11	10	25,86	5,92	16,54
12	11	26,19	4,95	15,82
13	12	26,04	4,25	15,12
14	13	25,88	3,64	14,54
15	14	24,84	3,14	14,02
16	15	25,28	2,71	13,45
17	16	26,43	2,02	12,85
18	17	25,51	1,74	12,35
19	18	25,39	1,32	11,93
20	19	25,74	0,90	11,39
21	20	25,37	0,62	11,03
22	21	25,75	0,34	10,67
23	22	25,61	-0,07	10,40
24	23	25,50	-0,20	10,26

25	24	25,21	-0,48	10,06
26	25	24,34	-0,77	9,86
27	26	25,11	-0,90	9,56
28	27	24,82	-1,18	9,28
29	28	23,62	-1,30	9,01
30	29	24,91	-1,46	8,86
31	30	25,41	-1,60	8,58
32	31	25,85	-1,74	8,30
33	32	27,02	-1,88	8,16
34	33	27,17	-2,02	8,02
35	34	26,69	-2,16	7,88
36	35	28,17	-2,21	7,74
37	36	25,96	-2,34	7,65
38	37	26,00	-2,43	7,47
39	38	26,14	-2,51	7,33
40	39	26,86	-2,73	7,25
41	40	26,14	-2,82	7,19
42	41	25,00	-2,98	6,99
43	42	26,03	-2,9	6,91
44	43	27,13	-3,04	6,91
45	44	25,76	-3,11	6,77
46	45	25,42	-3,25	6,52
47	46	25,60	-3,38	6,49
48	47	25,81	-3,4	6,49
49	48	26,18	-3,57	6,35
50	49	26,26	-3,66	6,35
51	50	26,36	-3,77	6,35
52	51	26,49	-3,79	6,21
53	52	27,32	-3,82	6,21

54	53	26,57	-3,86	6,07
55	54	25,12	-3,9	6,07
56	55	27,03	-3,95	5,94
57	56	26,49	-4,04	5,94
58	57	27,96	-4,08	5,94
59	58	24,31	-4,06	5,93
60	59	25,84	-4,09	5,79
61	60	27,13	-4,08	5,79
62	61	26,86	-4,07	5,79
63	62	25,49	-4,1	5,79
64	63	26,25	-4,09	5,79
65	64	26,33	-4,12	5,65
66	65	26,10	-4,11	5,79
67	66	26,65	-4,09	5,65
68	67	26,26	-4,15	5,62
69	68	26,50	-4,12	5,60
70	69	25,60	-4,098	5,51
71	70	25,01	-4,14	5,65
72	71	25,85	-4,12	5,65
73	72	26,59	-4,17	5,23
74	73	26,38	-4,13	5,37
75	74	25,49	-4,12	5,37
76	75	27,39	-4,15	5,51
77	76	27,78	-4,09	5,51
78	77	25,34	-4,08	5,65
79	78	25,94	-4,16	5,37
80	79	27,20	-4,18	5,65
81	80	28,07	-4,15	5,37
82	81	25,90	-4,17	5,65

83	82	26,45	-4,12	5,65
84	83	25,94	-4,19	5,78
85	84	29,05	-4,13	5,38
86	85	27,66	-4,19	5,51
87	86	26,10	-4,17	5,40
88	87	26,99	-4,12	5,57
89	88	25,85	-4,19	5,45
90	89	25,52	-4,2	5,42
91	90	25,61	-4,18	5,48

**Tabel 2. Data Tanpa Beban dengan 12V**

No	Waktu (menit)	Tanpa Beban 12v			
		Suhu Peltier	Heatsink	$\Delta T$	Suhu Ruang
1	0	23,37	26,63	3,26	25,51
2	1	19,19	32,45	13,26	25,09
3	2	15,98	33,65	17,67	24,81
4	3	13,33	34,05	20,73	23,84
5	4	10,81	34,07	23,25	22,73
6	5	9,00	34,06	25,06	21,89
7	6	7,19	33,96	26,77	20,78
8	7	5,79	33,80	28,01	19,11
9	8	4,54	33,71	29,18	17,72
10	9	3,28	33,55	30,27	16,32
11	10	2,16	33,45	31,28	15,07
12	11	0,91	33,30	32,39	13,68
13	12	0,21	33,21	33,00	12,15
14	13	-0,63	33,05	33,68	11,03
15	14	-1,47	32,96	34,43	10,20
16	15	-2,16	32,87	35,03	9,36
17	16	-2,72	32,78	35,50	8,67
18	17	-3,28	32,69	35,97	8,25
19	18	-3,98	32,61	36,59	7,83
20	19	-4,40	32,54	36,94	7,27
21	20	-4,81	32,53	37,34	6,86
22	21	-5,37	32,46	37,83	6,44
23	22	-5,65	32,46	38,11	6,16
24	23	-5,93	32,44	38,37	5,74

25	24	-6,21	32,37	38,58	5,46
26	25	-6,49	32,35	38,84	5,19
27	26	-6,91	32,30	39,21	4,91
28	27	-7,19	32,34	39,53	4,49
29	28	-7,47	32,20	39,67	4,35
30	29	-7,74	32,20	39,95	4,07
31	30	-8,02	32,20	40,23	3,93
32	31	-8,16	32,21	40,37	3,65
33	32	-8,44	32,34	40,79	3,38
34	33	-8,72	32,20	40,92	3,24
35	34	-8,86	32,20	41,06	2,82
36	35	-9,14	32,12	41,26	2,54
37	36	-9,42	32,12	41,54	2,40
38	37	-9,42	32,12	41,54	2,12
39	38	-9,56	32,12	41,68	1,98
40	39	-9,84	32,12	41,96	1,85
41	40	-9,98	32,10	42,08	1,71
42	41	-10,12	32,03	42,15	1,57
43	42	-10,26	32,03	42,29	1,43
44	43	-10,26	32,03	42,29	1,29
45	44	-10,40	32,03	42,43	1,15
46	45	-10,67	32,03	42,71	1,01
47	46	-10,81	32,02	42,83	0,87
48	47	-10,81	31,93	42,74	0,731
49	48	-10,95	31,88	42,83	0,592
50	49	-10,95	31,95	42,90	0,452
51	50	-11,09	31,95	43,04	0,313
52	51	-11,23	31,95	43,18	0,313
53	52	-11,23	31,95	43,18	0,313



54	53	-11,37	31,95	43,32	0,174
55	54	-11,37	32,03	43,41	0,035
56	55	-11,37	32,03	43,41	0,035
57	56	-11,37	32,03	43,41	-0,104
58	57	-11,51	32,02	43,53	-0,244
59	58	-11,37	31,97	43,34	-0,383
60	59	-11,65	32,03	43,69	-0,383
61	60	-11,65	32,03	43,69	-0,522
62	61	-11,65	32,03	43,68	-0,522
63	62	-11,65	31,97	43,62	-0,522
64	63	-11,65	32,00	43,65	-0,522
65	64	-11,65	31,95	43,60	-0,522
66	65	-11,79	31,95	43,74	-0,661
67	66	-11,65	31,86	43,52	-0,69
68	67	-11,65	31,91	43,56	-0,8
69	68	-11,79	31,95	43,74	-0,8
70	69	-11,79	31,86	43,66	-0,8
71	70	-11,93	31,83	43,76	-0,8
72	71	-11,93	31,78	43,71	-0,8
73	72	-11,93	31,78	43,71	-0,79
74	73	-12,07	31,78	43,85	-0,8
75	74	-12,07	31,75	43,82	-0,8
76	75	-12,21	31,70	43,90	-0,80
77	76	-12,21	31,70	43,90	-0,80
78	77	-12,21	31,70	43,90	-0,80
79	78	-12,21	31,70	43,90	-0,80
80	79	-12,35	31,70	44,04	-0,80
81	80	-12,35	31,70	44,04	-0,80
82	81	-12,49	31,70	44,18	-0,94

83	82	-12,49	31,70	44,18	-0,94
84	83	-12,49	31,61	44,10	-0,94
85	84	-12,63	31,61	44,24	-0,94
86	85	-12,63	31,53	44,15	-1,08
87	86	-12,63	31,49	44,12	-1,08
88	87	-12,63	31,44	44,07	-1,22
89	88	-12,77	31,44	44,21	-1,22
90	89	-12,77	31,44	44,21	-1,22
91	90	-12,77	31,55	44,32	-1,22

**Tabel 3. Data pengukuran dengan Beban 500mL**

No	Waktu (menit)	Beban Cairan 0,5L			
		Suhu Peltier	Heatsink	DT	Suhu Ruang
1	0	22,51	27,60	5,09	23,32
2	1	19,24	32,70	13,46	22,38
3	2	16,11	34,24	18,13	21,14
4	3	13,32	34,75	21,43	19,79
5	4	10,92	34,91	23,99	18,50
6	5	9,03	34,81	25,79	17,22
7	6	7,41	34,62	27,22	16,31
8	7	6,02	34,45	28,44	15,11
9	8	4,74	34,29	29,55	14,14
10	9	3,62	34,13	30,50	13,37
11	10	2,67	33,96	31,29	12,47
12	11	1,47	33,79	32,32	11,64
13	12	0,88	33,64	32,76	10,95
14	13	-0,06	33,56	33,62	10,28
15	14	-0,71	33,48	34,19	9,77
16	15	-1,41	33,38	34,79	9,06
17	16	-1,95	33,29	35,23	8,63
18	17	-2,56	33,20	35,75	8,10
19	18	-3,04	33,06	36,10	7,76
20	19	-3,45	33,14	36,59	7,30
21	20	-3,86	33,12	36,98	6,97
22	21	-4,27	33,04	37,31	6,58
23	22	-4,49	32,96	37,45	6,29
24	23	-4,81	32,87	37,68	5,95
25	24	-5,02	32,80	37,82	5,74

26	25	-5,28	32,78	38,06	5,45
27	26	-5,44	32,71	38,15	5,25
28	27	-5,70	32,71	38,41	5,08
29	28	-5,96	32,71	38,68	4,82
30	29	-6,13	32,70	38,83	4,66
31	30	-6,21	32,63	38,84	4,05
32	31	-6,30	32,63	38,93	4,32
33	32	-6,22	32,63	38,85	4,12
34	33	-6,31	32,61	38,92	4,04
35	34	-6,38	32,54	38,92	3,91
36	35	-6,54	32,46	39,00	3,80
37	36	-6,64	32,46	39,10	3,62
38	37	-6,77	32,46	39,23	3,55
39	38	-6,98	32,46	39,44	3,36
40	39	-6,99	32,46	39,45	3,25
41	40	-7,08	32,46	39,54	3,12
42	41	-7,24	32,46	39,70	3,00
43	42	-7,24	32,46	39,70	2,92
44	43	-7,24	32,46	39,70	2,84
45	44	-7,24	32,46	39,70	2,77
46	45	-7,33	32,46	39,79	2,70
47	46	-7,40	32,46	39,86	2,57
48	47	-7,41	32,47	39,88	2,56
49	48	-7,49	32,53	40,01	2,42
50	49	-7,58	32,46	40,04	2,40
51	50	-7,67	32,46	40,12	2,28
52	51	-7,67	32,46	40,12	2,28
53	52	-7,67	32,46	40,12	2,25
54	53	-7,83	32,44	40,27	2,14

55	54	-7,75	32,38	40,14	2,19
56	55	-7,91	32,46	40,37	2,06
57	56	-7,99	32,37	40,36	2,00
58	57	-7,94	32,37	40,31	1,99
59	58	-7,92	32,37	40,29	1,91
60	59	-7,92	32,37	40,29	1,85
61	60	-7,92	32,36	40,28	1,79
62	61	-8,09	32,29	40,38	1,84
63	62	-8,09	32,29	40,38	1,78
64	63	-8,12	32,20	40,33	1,78
65	64	-8,18	32,20	40,38	1,80
66	65	-8,20	32,25	40,46	1,85
67	66	-8,26	32,21	40,47	1,85
68	67	-8,19	32,22	40,41	1,85
69	68	-8,25	32,29	40,54	1,98
70	69	-8,24	32,20	40,44	1,85
71	70	-8,23	32,15	40,38	1,79
72	71	-8,24	32,20	40,44	1,83
73	72	-8,33	32,20	40,54	1,71
74	73	-8,26	32,20	40,47	1,71
75	74	-8,27	32,15	40,42	1,71
76	75	-8,35	32,14	40,49	1,65
77	76	-8,35	32,12	40,47	1,71
78	77	-8,43	32,12	40,55	1,57
79	78	-8,43	32,12	40,55	1,57
80	79	-8,43	32,12	40,55	1,56
81	80	-8,40	32,12	40,52	1,50
82	81	-8,43	32,12	40,55	1,44
83	82	-8,57	32,12	40,69	1,47

84	83	-8,55	32,12	40,67	1,43
85	84	-8,59	32,20	40,80	1,42
86	85	-8,69	32,15	40,84	1,32
87	86	-8,69	32,24	40,93	1,35
88	87	-8,69	32,21	40,90	1,21
89	88	-8,66	32,23	40,90	1,32
90	89	-8,65	32,11	40,77	1,32
91	90	-8,69	32,31	41,00	1,12

**Tabel 4. Data pengukuran dengan beban 1000mL**

No	Waktu (menit)	Beban Cairan 1L			
		Suhu Peltier	Heatsink	DT	Suhu Ruang
1	0	23,11	26,02	2,91	23,32
2	1	20,60	28,31	7,71	22,53
3	2	17,26	33,14	15,88	21,50
4	3	14,75	34,32	19,58	20,46
5	4	12,38	35,09	22,71	19,69
6	5	10,23	35,09	24,85	18,81
7	6	8,72	34,92	26,20	18,02
8	7	7,31	34,75	27,44	17,16
9	8	5,99	34,58	28,59	16,42
10	9	4,77	34,41	29,64	15,53
11	10	3,71	34,32	30,62	14,84
12	11	2,86	34,15	31,30	14,13
13	12	2,07	34,07	32,00	13,59
14	13	1,34	33,90	32,56	13,12
15	14	0,68	33,73	33,05	12,52
16	15	-0,10	33,56	33,66	12,12
17	16	-0,62	33,48	34,10	11,69
18	17	-1,15	33,39	34,54	11,32
19	18	-1,68	33,31	34,98	10,88
20	19	-2,04	33,22	35,26	10,57
21	20	-2,39	33,22	35,61	10,18
22	21	-2,79	33,14	35,93	9,93
23	22	-3,04	33,14	36,18	9,72
24	23	-3,29	33,14	36,42	9,44
25	24	-3,62	33,14	36,76	9,18

26	25	-3,80	33,14	36,94	9,01
27	26	-3,99	33,14	37,13	8,79
28	27	-4,17	33,14	37,30	8,60
29	28	-4,43	33,05	37,48	8,37
30	29	-4,52	33,05	37,57	8,18
31	30	-4,66	33,05	37,71	8,03
32	31	-4,77	33,05	37,82	7,84
33	32	-4,85	32,97	37,82	7,75
34	33	-5,03	32,97	38,00	7,60
35	34	-5,17	33,05	38,23	7,46
36	35	-5,27	33,05	38,32	7,33
37	36	-5,36	33,05	38,41	7,17
38	37	-5,46	32,88	38,34	6,98
39	38	-5,71	32,88	38,59	6,88
40	39	-5,81	32,88	38,69	6,69
41	40	-5,95	32,88	38,83	6,59
42	41	-5,96	32,80	38,76	6,40
43	42	-5,96	32,80	38,76	6,31
44	43	-5,96	32,88	38,84	6,19
45	44	-6,20	32,88	39,08	6,06
46	45	-6,15	32,80	38,94	5,93
47	46	-6,13	32,88	39,01	5,83
48	47	-6,20	32,88	39,09	5,69
49	48	-6,22	32,71	38,93	5,55
50	49	-6,30	32,80	39,10	5,49
51	50	-6,30	32,88	39,18	5,46
52	51	-6,22	32,80	39,02	5,34
53	52	-6,39	32,88	39,27	5,34
54	53	-6,46	32,88	39,34	5,32



55	54	-6,64	32,88	39,52	5,20
56	55	-6,72	32,80	39,52	5,19
57	56	-6,73	32,88	39,61	5,05
58	57	-6,73	32,97	39,69	4,98
59	58	-6,73	32,97	39,70	4,92
60	59	-6,81	32,88	39,69	4,91
61	60	-6,81	32,97	39,78	4,85
62	61	-6,82	33,05	39,87	4,81
63	62	-6,90	32,88	39,78	4,69
64	63	-6,93	32,88	39,81	4,62
65	64	-6,98	32,88	39,86	4,54
66	65	-7,02	32,80	39,82	4,48
67	66	-7,09	32,88	39,97	4,42
68	67	-7,15	32,80	39,95	4,35
69	68	-7,15	32,80	39,95	4,32
70	69	-7,15	32,71	39,87	4,17
71	70	-7,19	32,80	39,98	4,07
72	71	-7,24	32,71	39,95	4,12
73	72	-7,24	32,71	39,95	4,06
74	73	-7,26	32,71	39,97	4,06
75	74	-7,32	32,71	40,04	4,00
76	75	-7,28	32,71	39,99	3,92
77	76	-7,18	32,63	39,81	3,92
78	77	-7,15	32,71	39,87	3,92
79	78	-7,07	32,71	39,79	3,92
80	79	-7,17	32,71	39,89	3,91
81	80	-7,24	32,63	39,87	3,78
82	81	-7,32	32,63	39,95	3,78
83	82	-7,43	32,54	39,97	3,78

84	83	-7,50	32,54	40,04	3,77
85	84	-7,50	32,46	39,95	3,70
86	85	-7,50	32,46	39,95	3,63
87	86	-7,42	32,54	39,96	3,56
88	87	-7,41	32,54	39,95	3,55
89	88	-7,41	32,54	39,95	3,49
90	89	-7,41	32,54	39,95	3,49
91	90	-7,42	32,54	39,96	3,50

**Tabel 5. Data pengukuran dengan beban 2000mL**

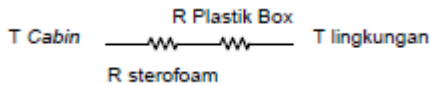
No	Waktu (menit)	Beban Cairan 2L			
		Suhu Peltier	Heatsink	DT	Suhu Ruang
1	0	20,60	29,76	9,16	25,69
2	1	17,38	30,89	13,52	25,20
3	2	14,73	35,42	20,70	24,67
4	3	12,77	36,61	23,84	24,12
5	4	11,25	36,84	25,59	23,60
6	5	9,96	36,92	26,96	23,17
7	6	8,79	36,75	27,96	22,64
8	7	7,73	36,58	28,84	22,10
9	8	6,85	36,40	29,55	21,66
10	9	6,14	36,18	30,03	21,09
11	10	5,51	36,08	30,57	20,70
12	11	4,79	35,93	31,15	20,25
13	12	4,31	35,93	31,61	19,83
14	13	3,73	35,76	32,03	19,41
15	14	3,38	35,76	32,39	18,98
16	15	3,01	35,74	32,73	18,66
17	16	2,66	35,59	32,93	18,28
18	17	2,26	35,59	33,33	18,00
19	18	2,01	35,42	33,42	17,73
20	19	1,69	35,42	33,73	17,50
21	20	1,44	35,32	33,88	17,24
22	21	1,17	35,25	34,08	17,01
23	22	0,95	35,17	34,23	16,79
24	23	0,87	35,25	34,39	16,59
25	24	0,68	35,25	34,58	16,39

26	25	0,50	35,17	34,67	16,22
27	26	0,34	35,16	34,82	16,02
28	27	0,15	35,06	34,90	15,89
29	28	0,00	34,90	34,90	15,75
30	29	-0,17	34,86	35,04	15,59
31	30	-0,34	35,02	35,36	15,44
32	31	-0,43	35,11	35,53	15,25
33	32	-0,59	35,25	35,84	15,15
34	33	-0,68	35,25	35,93	14,95
35	34	-0,76	35,25	36,02	14,74
36	35	-0,84	35,31	36,16	14,66
37	36	-0,85	35,10	35,94	14,46
38	37	-0,93	35,17	36,10	14,39
39	38	-0,96	35,15	36,10	14,26
40	39	-1,10	35,07	36,17	14,17
41	40	-1,11	35,01	36,12	14,03
42	41	-1,18	35,09	36,27	13,89
43	42	-1,27	35,09	36,35	13,75
44	43	-1,28	35,06	36,35	13,67
45	44	-1,44	35,02	36,46	13,54
46	45	-1,45	35,09	36,54	13,40
47	46	-1,61	35,09	36,70	13,32
48	47	-1,63	35,09	36,72	13,19
49	48	-1,79	35,09	36,88	13,18
50	49	-1,86	35,06	36,92	13,04
51	50	-1,81	34,99	36,81	12,90
52	51	-2,03	34,92	36,94	12,90
53	52	-1,96	34,95	36,90	12,78
54	53	-2,12	35,09	37,20	12,63

55	54	-2,12	35,07	37,19	12,61
56	55	-2,12	34,92	37,04	12,48
57	56	-2,20	35,01	37,21	12,40
58	57	-2,12	35,08	37,20	12,32
59	58	-2,12	34,90	37,02	12,19
60	59	-2,13	34,81	36,94	12,12
61	60	-2,21	34,72	36,93	12,04
62	61	-2,21	34,64	36,84	11,97
63	62	-2,21	34,58	36,78	11,97
64	63	-2,21	34,54	36,75	11,90
65	64	-2,29	34,41	36,70	11,89
66	65	-2,36	34,47	36,83	11,76
67	66	-2,38	34,38	36,76	11,76
68	67	-2,44	34,32	36,77	11,76
69	68	-2,49	34,24	36,72	11,75
70	69	-2,55	34,24	36,79	11,69
71	70	-2,55	34,24	36,79	11,67
72	71	-2,55	34,20	36,75	11,60
73	72	-2,55	34,18	36,73	11,53
74	73	-2,55	34,13	36,68	11,47
75	74	-2,63	34,15	36,79	11,47
76	75	-2,63	34,15	36,79	11,47
77	76	-2,72	34,15	36,87	11,42
78	77	-2,72	34,15	36,87	11,40
79	78	-2,79	34,06	36,86	11,27
80	79	-2,80	33,98	36,79	11,33
81	80	-2,80	33,98	36,79	11,29
82	81	-2,86	33,98	36,84	11,26
83	82	-2,89	33,98	36,87	11,30

84	83	-2,95	33,98	36,94	11,26
85	84	-2,89	33,99	36,88	11,19
86	85	-2,89	33,99	36,88	11,25
87	86	-2,97	33,97	36,94	11,16
88	87	-2,98	33,90	36,88	11,11
89	88	-2,99	33,90	36,88	11,05
90	89	-2,98	33,83	36,81	11,11
91	90	-2,97	33,92	36,89	11,02

## Perhitungan Kalor yang Hilang



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

Material	k (W/mk)	A (m <sup>2</sup> )	Δx (m)
Isolasi Sterofoam	0,033	0,286	0,015
Isolasi Plastik	0,2	0,281	0,002

Tabel Konduktivitas termal, luas total dan jarak termal material isolasi

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

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

Maka dapat dihitung nilai kalor yang hilang pada sistem pendingin adalah :

$$\begin{aligned} q_{pendinginan\ normal} &= \frac{T_{cabin} - T_{lingkungan\ luar}}{\left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{sterofom} + \left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{plastik}} \\ &= \frac{4 - 25,99}{\left(\frac{0,015}{0,033 \times 0,286}\right) + \left(\frac{0,002}{0,2 \times 0,281}\right)} \\ &= -13,53\ Watt \end{aligned}$$

### 1. Data Perhitungan

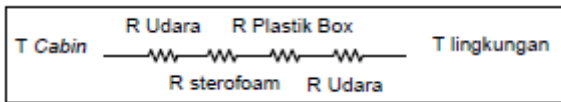
- Daya input peltier : 192 Watt
- Beban : 2000mL

- Waktu : 90 menit
- $T_{cabin\ akhir} : 12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{cabin\ awal} : 24,56\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{lingkungan(dinding\ luar\ box)} : 25,99\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $A_{atap} : 0,043\text{ m}^2$
- $A_{alas} : 0,043\text{ m}^2$
- $A_{dinding\ kanan} : 0,029\text{ m}^2$
- $A_{dinding\ kiri} : 0,029\text{ m}^2$
- $A_{dinding\ depan} : 0,043\text{ m}^2$
- $A_{dinding\ belakang} : 0,043\text{ m}^2$
- $h_o : 25\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- $h_i : 25\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

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

Perhitungan beban transmisi terbagi menjadi 2 bagian, yaitu :

### 1. Atap & Alas



$$X_{sterof\oam} = 0,015m, X_{plastik} = 0,002m$$

$$\text{maka, } U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,015}{0,033} + \frac{0,002}{0,2} + \frac{1}{25}} = 1,851\text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} q_{dinding\ kanan-kiri} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\ &= 2 \times (1,851 \times 0,049 \times (25,99 - 12,9)) \\ &= 1,187\text{ Watt} \end{aligned}$$



## 2. Dinding

- Kanan dan Kiri

$$\begin{aligned} q_{\text{dinding kanan-kiri}} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\ &= 2 \times (1,851 \times 0,036 \times (25,99 - 12,9)) \\ &= 0,872 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Depan dan Belakang

$$\begin{aligned} q_{\text{depan belakang}} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\ &= 2 \times (1,851 \times 0,055 \times (25,99 - 12,9)) \\ &= 1,332 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka total beban kalor transmisi adalah :

$$\begin{aligned} q_{\text{transmisi}} &= q_{\text{atas-bawah}} + q_{\text{kanan-kiri}} + q_{\text{depan-belakang}} \\ &= 1,187 + 0,872 + 1,332 = 3,391 \text{ Watt} \end{aligned}$$

## 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 :

Beban	$q$ beban yang didinginkan (Watt)
Air	26,246
Aluminium case	0,645
Cold sink	1,100
Spacer Block 2 buah	0,949

Tabel Hasil perhitungan kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan beban.

$$\begin{aligned}q_{cooling} &= q_{air} + q_{aluminium\ case} + q_{cold\ sink} + q_{spacer\ block} \\ &= 26,246 + 0,645 + 1,100 + 0,949 \\ &= 28,94 \text{ Watt}\end{aligned}$$

4. Perhitungan Beban Keseluruhan ( $q_c$ )

$$\begin{aligned}q_c &= q_{transmisi} + q_{cooling} + q_{losses} \\ &= 3,391 + 28,94 + 13,53 \\ &= 45,86 \text{ Watt}\end{aligned}$$



### **BIODATA PENULIS**

Pandu Sakti Adrianto lahir di Blitar, 01 Oktober 1993. Merupakan anak ke-2 dari 2 bersaudara dari Bapak Sukanto dan Ibu Jariyah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Binangun 01 Kabupaten Blitar pada tahun 2005. Pada tahun itu juga peneliti melanjutkan pendidikan ke jenjang menengah di SMP Ar-Rohmah, Dau Kab. Malang dan lulus pada tahun 2008. Kemudian penulis melanjutkan Sekolah Menengah Atas di tempat yang sama yaitu SMA Ar-Rohmah dan lulus pada tahun 2011. Pada tahun tersebut penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada jurusan Fisika. Terdaftar dengan NRP 1111100076 dan mengambil bidang minat Instrumentasi. Selama masa belajar penulis lebih aktif di kegiatan luar kampus dengan mendaki gunung. Harapan penulis karya ini dapat memberikan manfaat kepada pembaca dan menjadi kontribusi penulis dalam kebermanfaat pada bidang yang penulis alami. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini serta ingin memberikan kritik dan saran, pembaca dapat menghubungi penulis melalui e-mail : [pandu.adrianto11@mhs.physics.its.ac.id](mailto:pandu.adrianto11@mhs.physics.its.ac.id)

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***