



TUGAS AKHIR - TM 145502

**KAJI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI
TEMPERATUR PADA *PORTABLE COLD
STORAGE* DENGAN THERMOELEKTRIK
TEC1-12706**

ALICHIA SILFIYATI
NRP 2110 030 034

Dosen Pembimbing :
Ir. Denny M. E. Soedjono, MT

PROGRAM STUDI DIPLOMA 3 TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 145502

**THE EXPERIMENTAL INVESTIGATE
TEMPERATURE DISTRIBUTION IN PORTABLE
COLD STORAGE WITH THERMOELECTRIC
TEC1-12706**

**ALICHIA SILFIYATI
NRP 2110 030 034**

**Counsellor Lecture :
Ir. DENNY M.E. SOEDJONO,MT**

**STUDY PROGRAM DIPLOMA III
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

KAJI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA *PORTABLE COLD STORAGE* DENGAN THERMOELEKTRIK TEC1-12706

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada

Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma 3 Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Alichia Silfiyati
NRP. 2110 030 034

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Denny M. E. Soedjono, MT
NIP. 19570331 198803 1 001

SURABAYA, JANUARI 2016

KAJI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA *PORTABLE COLD STORAGE* DENGAN THERMOELEKTRIK TEC1-12706

Nama Mahasiswa : ALICHIA SILFIYATI
NRP : 2110 030 034
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. DENNY M.E. SOEDJONO, MT

Abstrak

Cold storage dapat diilustrasikan sebagai sebuah bangunan besar yang fungsinya seperti lemari pendingin. Bangunan dengan temperatur rendah ini hanya dapat difungsikan dengan baik jika kita memastikan ruangan tertutup rapat dalam artian udara tidak dapat keluar masuk dan memakai alat pendingin (refrigeration) untuk menjaga temperatur tetap rendah dengan mengeluarkan udara dingin. Maka dari itu tugas akhir ini dilakukan kajian tentang penerapan peltier TEC 12076 pada alat portable cold storage.

Perencanaan Alat Portable cold storage menggunakan komponen utama termoelektrik, heatsink, dan fan. Pengujian diawali dengan proses perencanaan alat, pengadaan peralatan, dan pembuatan alat. Selanjutnya dilakukan pengolahan data dan perhitungan untuk mendapatkan heat rate pada heatsink termoelektrik sisi panas dan dingin serta grafik distribusi temperatur pada alat portable cold storage.

Pada perhitungan menunjukkan bahwa, dalam kondisi maksimum heatsink pada sisi panas dapat melepas kalor sebesar 0.319 Watt, plat datar pada sisi dingin dapat menyerap kalor sebesar 4.676 Watt, distribusi temperatur dari titik pengamatan 1 sampai 9 di dapatkan temperatur sebesar 8 °C, 19 °C, 21 °C, 20 °C, 22 °C, 20 °C, 20 °C, 19 °C, 20 °C.

Kata kunci : Termoelektrik, Heatsink, Heat Rate, Distribusi Temperatur

**THE EXPERIMENTAL INVESTIGATE TEMPERATURE
DISTRIBUTION IN PORTABLE COLD STORAGE WITH
THERMOELECTRIC TEC1-12706**

Student Name : ALICHIA SILFIYATI
NRP : 2110 030 034
Departement : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Counsellor Lecturer : Ir. DENNY M.E. SOEDJONO, MT

Abstract

Cold storage can be illustrated as a large building that functions like a refrigerator. Building with low temperatures can only function well if we ensure a sealed room in the sense that air can not be out and wear refrigeration (refrigeration) to maintain the temperature remains low by releasing the cold air. Therefore this thesis conducted a study on the application of TEC peltier 12076 on portable tools cold storage.

Planning Tool Portable cold storage using principal component thermoelectrically, heatsink, and the fan. Testing begins with the planning tools, equipment procurement, and manufacturing tools. Furthermore, the data processing and calculation to get a heatsink thermoelectric heat rate at the hot and cold side as well as graphs of temperature distribution in the cold storage of portable tools.

In the calculations show that, under conditions of maximum heatsink on the hot side can take the heat of 0.319 Watts, flat plate on the cold side can absorb heat at 4.676 Watts, the temperature distribution of the observation point 1 until 9 in get a temperature of 8 0C, 19 0C , 21 0C, 20 0C, 22 0C, 20 0C, 20 0C, 19 0C, 20 0C.

Key words : Termoelectric, Heatsink, Heat Rate, Temperature Distribution

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, petunjuk dan rizkinya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari semua dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini antara lain:

1. Bapak Ir. Denny M.E. Soedjono, MT, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberi ilmu-ilmu yang bermanfaat, saran, serta membimbing penulis. Terimakasih atas waktu dan kesabarannya dalam membimbing penulis.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MT, selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin FTI ITS. Terimakasih atas segala bantuan dan motivasinya.
3. Ibu Liza Rusdiyana, ST, MT, selaku koordinator tugas akhir program studi D3 Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Winarto, DEA, selaku dosen wali.
5. Bapak Joko Sarsetiyanto, MSc, Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD, Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku dosen penguji. Terimakasih atas saran dan masukan yang diberikan.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan D3 Teknik Mesin FTI ITS.
7. Ibu Sawiyati dan Bapak Afandi, Orangtua penulis yang tak pernah berhenti berdoa dan selalu memberikan dukungan berupa materiil maupun non materiil, saran serta nasihat sehingga penulis selalu berusaha dan pantang menyerah. Dan untuk saudara kandung penulis, Cici, Fiki, Sintiya yang selalu memberikan dukungan

serta doanya. Terimakasih atas kasih sayang yang telah diberikan demi kesuksesan penulis.

8. Teman-teman Laboratorium Teknik Pendingin Davit dan Adam yang telah memberikan semangat, kerjasama dan bantuan yang sangat berharga.
9. Davit, partner tugas akhir yang merasakan suka duka bersama dengan penulis serta teman bertukar ilmu selama ini.
10. Rini dan Dian (2010) terimakasih sudah mendukung dan membantu banyak hal dalam pengerjaan tugas akhir ini.
11. Shendy dan Putri yang selalu memberikan dukungan, waktu, semangat serta doanya sehingga terselesaikannya tugas akhir ini.
12. Teman-teman D3 Teknik Mesin angkatan 2k10, terimakasih semangatnya dan waktunya untuk berbagi ilmu bersama-sama.
13. Seluruh Civitas Akademik D3 Teknik Mesin FTI ITS.
14. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan bantuan, dukungan dan doa bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat tersusun.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan pengetahuan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Manfaat Penulisan	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Metode Penulisan	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Cold Storage	5
2.1.1 Tipe Tipe Cold Storage	5
2.2 Perpindahan Panas.....	7
2.2.1 Konduksi	8
2.2.2 Konveksi.....	9
2.2.2.1 Konveksi Bebas	11
2.2.2.2 Konveksi Paksaan.....	14
2.3 Aliran Internal	15
2.3.1 Kondisi Fully Developed.....	16
2.4 Bilangan Reynold, Bilangan Nusselt, Bilangan Prandtl....	16
2.4.1 Bilangan Reynold	16
2.4.2 Bilangan Nusselt.....	17
2.4.3 Bilangan Prandtl	18
2.5 Termoelektrik	19

2.5.1 Sejarah Penemuan Energi Termoelektrik	19
2.5.2 Prinsip Kerja Termoelektrik	19
2.5.3 Parameter Penggunaan Termoelektrik	21
2.5.4 Aplikasi Termoelektrik	23
2.6 Heatsink	24
2.6.1 Karakter Heatsink	24
2.6.2 Bahan / Material Heatsink	25
2.6.3 Fungsi Heatsink	26
2.5.3.1 Fan sebagai Penunjang Heatsink	27
2.5.3.2 Cara Kerja Heatsink Fan	28
2.7 Termokopel	29
2.7.1 Dasar-Dasar Termokopel	29
2.7.2 Prinsip Kerja Termokopel	32
2.7.3 Tipe-Tipe Termokopel	34
2.8 Thermal Paste	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Portable Cold Storage ...	40
3.2 Penjelasan Diagram Alir Proses Pembuatan Portable Cold Storage.....	41
3.2.1 Studi Literatur dan Observasi	41
3.2.2 Pengumpulan Data	41
3.2.3 Pemilihan Komponen	41
3.2.4 Perakitan	42
3.2.5 Pengujian Alat dan Pengambilan Data	42
3.2.6 Perhitungan dan Pembahasan	42
3.2.7 Penyusunan Laporan	42
3.3 Spesifikasi Komponen yang Digunakan	43
3.3.1 Modul Peltier	43
3.3.2 Heatsink	44
3.3.3 Fan	45
3.3.4 Trafo Step-Down	46
3.3.5 Portable Cold Storage	47
3.3.5 Thermal Paste	47
3.4 Fungsi dan Cara Kerja Alat Ukur yang Digunakan	47

3.4.1 Ampermeter dan Voltmeter	47
3.4.2 Thermometer	48
3.4.3 Anemometer	50
3.5 Perancangan Alat Peraga	51
3.6 Prosedur Pengujian Alat	51

BAB IV ANALISIS DAN PERHITUNGAN

4.1 Diagram Alir Proses Perhitungan	53
4.2 Data Hasil Pengujian	54
4.3 Perhitungan Konveksi pada Heatsink Sisi Panas.....	55
4.3.1 Perhitungan Reynold Number dan Nusselt Number	58
4.3.3 Perhitungan Heat Rate pada Heatsink sisi panas.....	58
4.4 Perhitungan Heat Rate pada Plat Datar	59
4.4.1 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Yang Tertempel Termoelektrik	60
4.4.2 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Sebelah Kanan dan Kiri.....	62
4.4.3 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Terjauh Dari Termoelektrik	64
4.4.4 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Bagian Bawah	66
4.4.5 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Bagian Atas ...	68
4.4.6 Total Heat Rate Didalam Box.....	70
4.5 Grafik Distribusi Temperatur	71

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran..	82

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN BIODATA



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

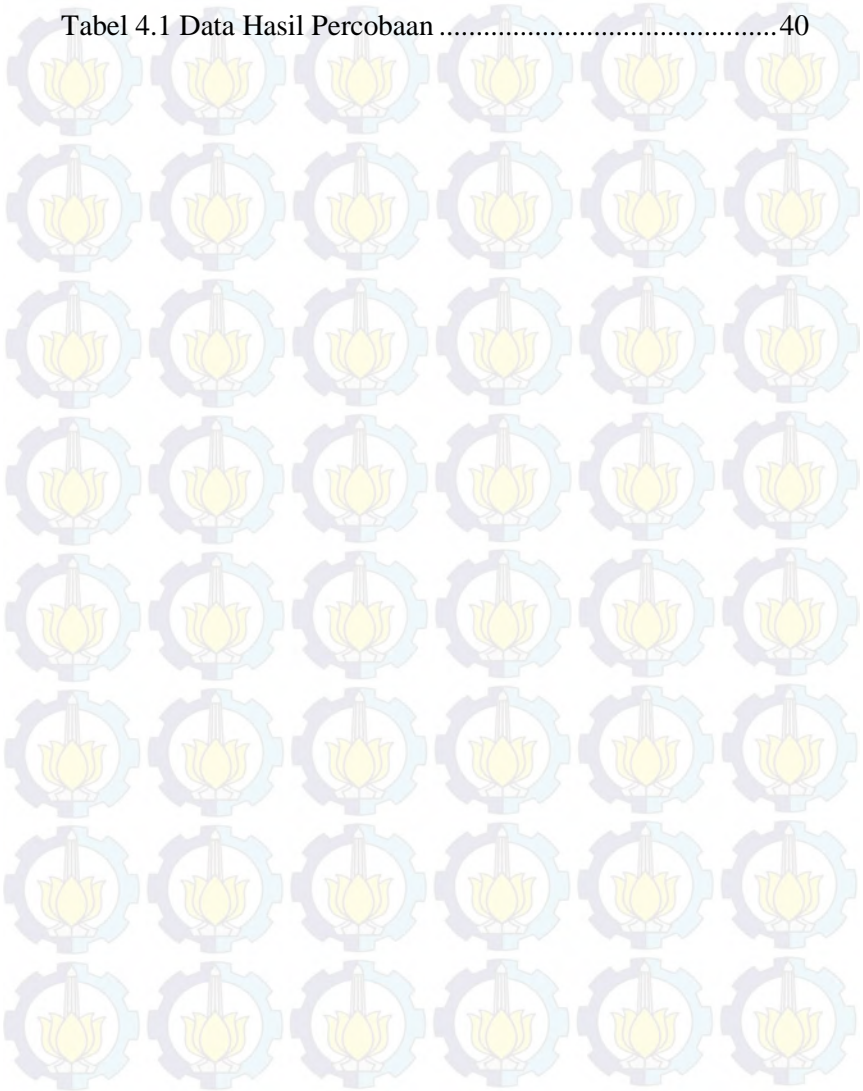
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi, konveksi, radiasi...	7
Gambar 2.2 Perpindahan panas konduksi dengan diffusi energi akibat aktivitas molekuler	8
Gambar 2.3 Konduksi satu dimensi steady state	9
Gambar 2.4 Contoh Peristiwa perpindahan panas secara Konveksi	10
Gambar 2.5 Pergerakan udara pada peristiwa perpindahan konveksi dengan sumber panas pada salah satu sudutnya	11
Gambar 2.6 Aliran konveksi bebas (natural) disekitar plat vertikal	12
Gambar 2.7 (a) Bagian atas plat dingin (b) Bagian bawah plat dingin (c) Bagian atas plat panas (d) Bagian bawah plat panas	13
Gambar 2.8 Profil kecepatan pada aliran internal	15
Gambar 2.9 Profil temperature pada aliran internal $T_{r,o} < T_s$..	15
Gambar 2.10 Skema aliran pelteir	20
Gambar 2.11 Arah aliran electron pada modul termoelektrik ..	21
Gambar 2.12 Heatsink	24
Gambar 2.13 Heatsink fan	27
Gambar 2.14 Termokopel.....	29
Gambar 2.15 Sambungan kabel metal termokopel.....	30
Gambar 2.16 Rangkaian dasar termokopel.....	31
Gambar 2.17 Bentuk fisik Termokopel	32
Gambar 2.18 Termokopel dengan 2 jungtion	33
Gambar 2.19 Kegunaan thermalpaste.....	36
Gambar 2.19 Penampang thermalpaste yang direkatkan pada heatsink dan processors	38
Gambar 3.1 Diagram alir proses pembuatan portable cold storage	40
Gambar 3.2 Modul Peltier (Termoelektrik).....	43
Gambar 3.3 Heatsink	44
Gambar 3.4 Fan	45

Gambar 3.5 Power Supply.....	46
Gambar 3.6 Portable Cold Storage.....	47
Gambar 3.7 Thermal Paste	47
Gambar 3.8 Ampermeter dan Voltmeter	48
Gambar 3.9 Thermometer	49
Gambar 3.10 Anemometer	50
Gambar 4.1 Diagram Alir Proses Perhitungan	53
Gambar 4.2 Sketsa heatsink sisi panas	55
Gambar 4.3 Sketsa Plat Datar.....	59
Gambar 4.4 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 1..	71
Gambar 4.5 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 2..	72
Gambar 4.6 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 3..	73
Gambar 4.7 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 4..	74
Gambar 4.8 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 5..	75
Gambar 4.9 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 6..	76
Gambar 4.10 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 777	
Gambar 4.11 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 878	
Gambar 4.12 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 979	
Gambar 4.13 Waktu vs Temperatur pada keseluruhan titik	80

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan	40
--------------------------------------	----



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan cold storage adalah sebuah bangunan yang tidak mengalami proses pembusukan sampai pada waktunya akan dikirim ke konsumen, dimana pencegahan kebusukan dilakukan dengan metode pendinginan. Cold storage dapat diilustrasikan sebagai sebuah bangunan besar yang fungsinya seperti lemari pendingin. Bangunan dengan temperatur rendah ini hanya dapat difungsikan dengan baik jika kita memastikan ruangan tertutup rapat dalam artian udara tidak dapat keluar masuk dan memakai alat pendingin (refrigeration) untuk menjaga temperatur tetap rendah dengan mengeluarkan udara dingin. Maka dari itu tugas akhir ini dilakukan kajian tentang penerapan peltier TEC 12076 pada alat portable cold storage.

Devi Ratna Sari dalam tugas akhir terdahulu dengan judul kaji Eksperimental Perpindahan Panas Konveksi Pada Heatsink Sisi Panas dan Sisi Dingin Thermoelektrik TEC 12706 menggunakan *polyurethane* dan *expanded polysterene foam* sebagai bahan dinding ruang pendingin serta menggunakan aluminium foil sebagai bahan pelapis dalam ruangan menghasilkan $16,1^{\circ}\text{C}$ maka untuk memperoleh temperature lebih rendah alat ini menggunakan *box* dengan dimensi lebih kecil dengan *stainless steel* sebagai bahan dinding ruangan pendingin.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, masalah yang akan dibahas adalah

1. Nilai heat rate heatsink pada alat cold storage dengan menggunakan termoelektrik TEC 12076.

2. Distribusi temperatur pada alat portable cold storage dengan menggunakan termoelektrik TEC 12076.

1.3 Tujuan Penulisan

Dengan mengacu pada permasalahan diatas maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui nilai heat rate heatsink pada alat cold storage dengan menggunakan termoelektrik TEC 12076.
2. Mengetahui distribusi temperature pada alat portable cold storage dengan menggunakan termoelektrik TEC 12076.

1.4 Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan laporan tugas akhir ini adalah untuk mempelajari materi perkuliahan lebih lanjut khususnya perpindahan panas serta distribusi temperatur pada alat portable cold storage dengan menggunakan termoelektrik TEC 12076.

1.5 Batasan Masalah

Pada pembatasan masalah ini penulis hanya menganalisis variasi lamanya pendinginan terhadap distribusi temperatur yang ada di alat portable cold storage menggunakan termoelektrik TEC 12706. Mengingat betapa luas dan kompleksnya permasalahan pada sistem perpindahan panas dan terbatasnya waktu yang ada, maka dalam pembahasan ini penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Kondisi yang ada dalam system adalah kondisi steady state.
2. Pengujian di lakukan di Laboraturium Teknik Pendingin D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Dinding cold storage adiabatic.
4. System ini terisolasi sempurna dan tidak terjadi kebocoran.
5. Aliran udara dan panas mengalir merata pada heatsink.

1.6 Metode Penulisan

Metode penulisan rancang ulang alat pemanas dan pendingin bertenaga listrik antara lain:

1. **Studi Literatur**
Untuk menambah wawasan perlu studi literature dengan mempelajari buku – buku tentang pemanas dan pendingin atau karya ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang di hadapi.
2. **Konsultasi Dengan Dosen Pembimbing**
Dalam penulisan karya akhir ini perlu mengadakan konsultasi/responsi dengan dosen pembimbing.
3. **Observasi Data**
Melakukan observasi data – data benda kerja melalui media internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan benda kerja.
4. **Analisa data**
Menghitung beban pemanas dengan menggunakan buku-buku pedoman serta melakukan pengujian terhadap alat tersebut.
5. **Membuat Kesimpulan**
Setelah menyelesaikan laporan karya akhir dapat mengambil kesimpulan tentang hasil dari perancangan dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan Karya Akhir ini terdiri dari 5 bab, berdasarkan penulisan-penulisan tertentu,yang nantinya diharapkan agar pembaca lebih mudah dalam memahaminya.

Sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

1. **BAB I Pendahuluan**
Pada bab ini berisikan tentang Latar Belakang, Perumusan Masalah, Tujuan Penulisan, Manfaat Penulisan, Batasan Masalah, Metode Penulisan dan Sistematika Penulisan

2. BAB II Dasar Teori

Pada bab ini berisi mengenai teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum menunjang pelaksanaan penelitian, perhitungan dan pemecahan masalah yang berguna untuk analisa data yang telah diperoleh.

3. BAB III Metodologi

Pada bab ini membahas tentang metode perancangan alat, penelitian, sasaran penelitian, teknik pengumpulan data dan langkah analisis data mulai dari persiapan sampai dengan kesimpulan.

4. BAB IV Perhitungan dan Pembahasan

Pada bab ini berisi pembahasan mengenai hasil perhitungan heatrate pada heatsink serta data analisis pengaruh variasi lamanya waktu pendinginan terhadap distribusi temperature pada cold storge dengan menggunakan termoelektrik TEC 12706.

5. BAB V Penutup

Pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari penyusunan tugas akhir dan hasil dari rangkaian eksperimen yang telah dilakukan dan juga saran untuk penyempurnaan alat selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Cold Storage

Dalam mendinginkan suhu suatu bahan produk maka aktivitas engine mikroba yang ada di dalamnya berkurang. Sehingga kerusakan, penurunan mutu dapat di hambat.

Dalam pembangunan cold storage mempunyai beberapa beban diantaranya beban mati, beban hidup, beban gempa, beban angin dan beban akibat perubahan suhu. Beban perubahan suhu merupakan beban yang tidak dimiliki bangunan lain. Karena di dalam bangunan cold storage suhunya sampai -25°C sedangkan suhu diluar ruangan $+36^{\circ}\text{C}$, perbedaan suhu yang ekstrim inilah yang mengakibatkan beberapa bagian bangunan cold storage berbeda dengan bangunan lainnya.

2.1.1 Tipe Tipe Cold Storage

1. Jacketed Cold Storage (Cold Storage Berjaket)

Tipe ini merupakan ruang penyimpanan yang ideal, tetapi konstruksinya sangat mahal. Ruang dalam terisolasi total dari jaket udara. Karena itu lapisan dalam harus dibuat dari bahan yang tidak dapat ditembus udara. Sambungan-sambungannya harus dibuat kedap udara.

Sistem cold storage ini menjamin bahwa perbedaan suhu didalam ruang penyimpan cukup kecil. Hal ini dicapai karena aliran dari udara dingin mengelilingi bagian luar dari ruangan dalam storage. Selain itu, karena pemasukan panas sangat kecil, RH yang tinggi dapat dipertahankan. Dengan demikian, dehidrasi produk sangat terbatas.

Tipe ini tidak memerlukan kipas didalam ruang penyimpanan. Hal ini merupakan faktor lain yang mendukung dihasilkannya produk yang baik. Tipe ini tidak banyak dipakai karena kemahalannya dan karena tidak cocok jika beban panas dari produk cukup tinggi.

2. Gridded Cold Storage(Cold Storage dengan Pipa Pendingin Polos)

Pada tipe ini, pipa pendingin polos dirangkai menutupi seluruh langit-langit dan di dinding ruangan cold storage. Tipe ini juga menghasilkan kondisi penyimpanan yang baik karena suhu dalam ruangan cukup merata tanpa disirkulasikan dengan kipas. Panas yang masuk melalui dinding segera dikeluarkan tanpa mengganggu produk yang disimpan.

Kecepatan pemindahan panas kepipa hanya sedikit berkurang jika pipa tertutup es sehingga defrost tidak perlu sering dilakukan. Cold storage jenis ini dapat bekerja berbulan-bulan tanpa defrosting.

Kelemahan atau kerugian utama dari tipe ini adalah:

- a. Ada banyak saluran-saluran pipa yang kompleks
- b. Memerlukan bahan refrigeran dalam jumlah yang banyak
- c. Struktur cold storage harus kuat untuk menahan pipa-pipa dan refrigeran.
- d. Memerlukan bejana penampung refrigeran jika cooler perlu dikosongkan untuk diperbaiki
- e. Finned Grid Stores (Cold Storage dengan Pipa Bersirip)

Tipe ini mirip dengan gridded cold storage tapi pipa yang digunakan adalah pipa bersirip. Dengan pipa bersirip ini jika dirangkai dilangit-langit saja sudah mencukupi, tanpa memerlukan rangkaian pipa didinding. Dengan demikian biaya dapat dikurangi, akan tetapi kelemahannya adalah pipa tidak menutupi dinding sehingga kondisi penyimpanannya tidak sebaik cold storage dengan pipa polos. Pipa bersirip lebih sulit di-defrost dan defrost perlu dilakukan sesering mungkin.

3. Cold Storage dengan Unit Cooler

Tipe ini paling banyak digunakan karena paling murah pemasangannya; hanya sedikit memerlukan bahan pendingin; mudah di-defrost dan tidak memerlukan struktur penyangga yang berat. Kelemahannya adalah beberapa rancangan tidak

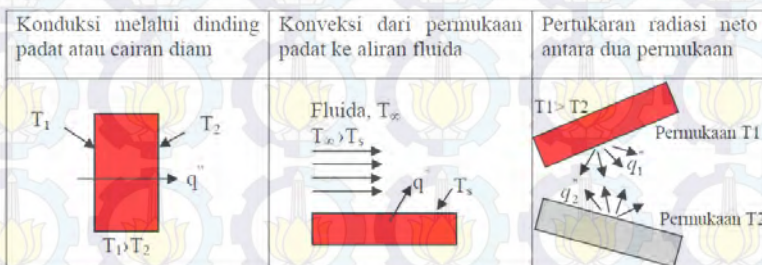
memungkinkan distribusi udara yang merata di dalam cold storage sehingga menyebabkan kondisi penyimpanan yang buruk.

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energy panas atau kalor sebagai akibat perpindahan temperatur. Bila dua benda atau lebih terjadi kontak termal maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah, hingga tercapainya kesetimbangan termal.

Proses perpindahan panas ini berlangsung dalam 3 mekanisme, yaitu : konduksi, konveksi dan radiasi. Pada tugas akhir ini hanya menggunakan perpindahan panas secara konduksi dan konveksi saja.

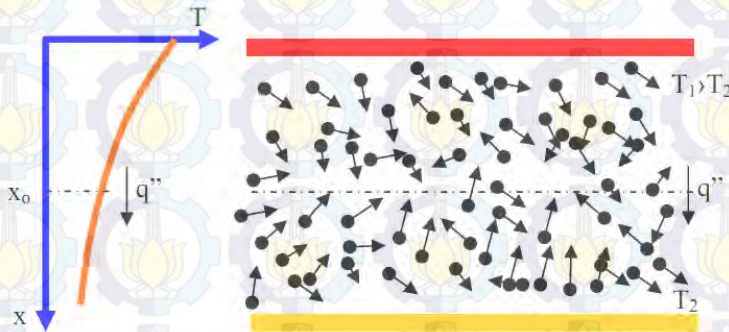
Jika ada gradient temperatur pada media yang diam, baik pada benda padat ataupun liquid perpindahan panas yang terjadi disebut konduksi. Jika ada gradient temperatur antara benda padat dengan liquid yang mengalir disekitarnya perpindahan panas yang terjadi disebut konveksi. Semua permukaan yang memiliki temperatur memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, sehingga ada atau tidak ada media perantara perpindahan panas pasti terjadi antara dua permukaan yang berbeda temperaturnya. Perpindahan panas yang demikian ini disebut radiasi.



Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi

2.2.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas level atom dan molekuler. Digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut. Gambar 2.2 memperlihatkan bahwa partikel-partikel bergerak secara acak, sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika $T_1 > T_2$ maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu x positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut difusi energi.



Gambar 2.2 Perpindahan panas konduksi dengan difusi energi akibat aktivitas molekuler (Fundamental Heat and Mass Transfer, Incropera)

Untuk menghitung laju perpindahan panas diperlukan persamaan yang sesuai dengan *mode* dari perpindahan panas tersebut. Persamaan laju perpindahan panas konduksi satu dimensi pada dinding datar dikenal dengan persamaan (hukum) *Fourier*. Pada gambar 2.12 jika $T_1 > T_2$, maka terdapat

distribusi temperatur ke arah sumbu x $T(x)$, persamaan laju perpindahan panas adalah :

$$q_x'' = -k \cdot \frac{dT}{dx}$$

$$q_x = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

dimana :

q : Laju perpindahan panas (W)

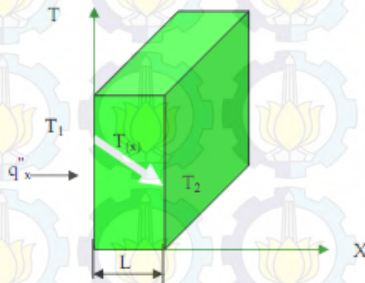
q_x'' : Fluks panas ($\frac{W}{m^2}$) adalah laju perpindahan panas kearah sumbu x positif per unit luasan yang tegak lurus arah perpindahan panas.

$\frac{dT}{dx}$: *Gradient* temperatur

k : Konduktivitas panas (W/m^oK) adalah karakteristik individu material dinding.

Tanda minus adalah konsekuensi bahwa panas berpindah dari lokasi yang bertemperatur tinggi ke yang lebih rendah. Jika distribusi temperatur linier maka :

$$q_x'' = -k \cdot \frac{T_2 - T_1}{L}$$



Gambar 2.3 Konduksi satu dimensi *steady state* (Fundamental Heat and Mass Transfer, Incropera)

2.2.2 Konveksi

Yaitu perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya,

dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas) dimana diantara keduanya terdapat perbedaan temperatur. Dengan kata lain mekanisme perpindahan panas antara permukaan benda padat dan fluida (cairan atau gas) yang bergerak adalah dengan :

1. Ada medium
2. Medium ikut berpindah
3. Driving force : beda temperature

Persamaan p erindahan panas secara konveksi menggunakan persamaan yang dikenal sebagai hukum Newton untuk pendinginan (Newton Law of Cooling) yang dirumuskan sebagai berikut :

Jika $T_s > T_\omega$:

$$q_{\text{konv}} = hA(T_s - T_\omega)$$

dimana,

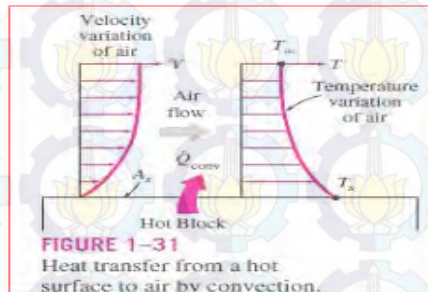
q_{konv} = Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

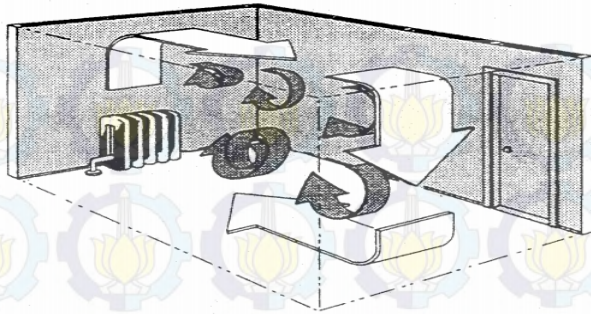
A = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_s = Temperatur permukaan padat (K)

T_ω = Temperatur fluida (K)



Gambar 2.4 Contoh peristiwa perpindahan Panas secara konveksi



Gambar 2.5 Pergerakan udara pada peristiwa perpindahan konveksi dengan sumber panas pada salah satu sudutnya.

2.2.2.1 Konveksi Bebas

Dalam konveksi bebas gerakan fluida disebabkan karena gaya apung (*buoyancy*) diantara fluida, sedangkan di konveksi paksa gerakan fluida disebabkan oleh gaya luar. Gaya apung dihasilkan oleh gabungan dari gradien densitas fluida dan gaya berat (*body force*) yang proporsional dengan densitas fluida.

Korelasi empiris yang paling sesuai dengan perhitungan teknis untuk aliran konveksi beba eksternal adalah:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = CRa_L^n$$

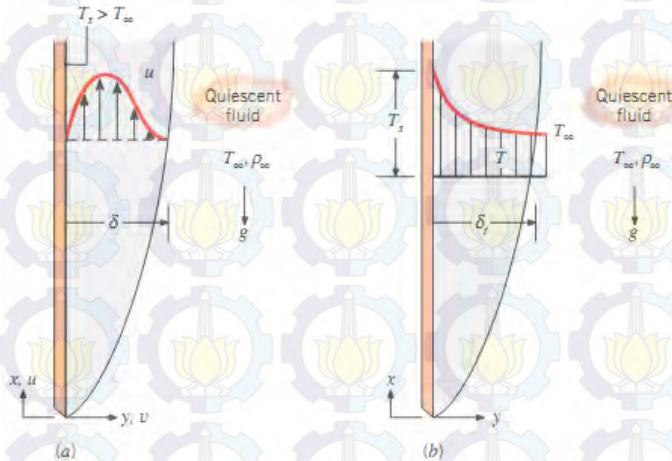
Dengan bilangan Rayleigh:

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

L: adalah panjang karakteristik, $n = 1/4$ laminer ($10^4 \leq R_{al} \leq 10^9$) dengan $C=0,9$

dan $n = 1/3$ turbulen ($10 \leq R_{al} \leq 10^9$) dengan $C=0,10$ dan semua sifat dievaluasi pada temperatur film $T_1 = \frac{T_s + T_{\infty}}{2}$

1. Plat Vertikal



Gambar 2.6 Aliran konveksi bebas (natural) disekitar plat vertikal

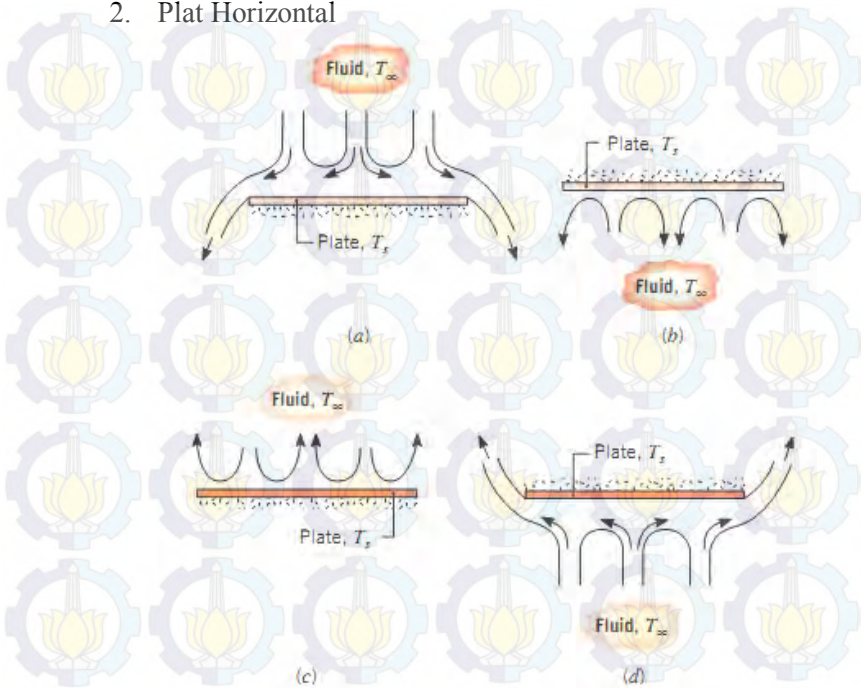
Korelasi yang dapat dipakai untuk seluruh harga Rayleigh diintroduisir oleh Churchill and Chu

$$Nu_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

Meskipun persamaan diatas cocok untuk semua perhitungan teknis tetapi hasil yang lebih akurat untuk aliran laminer didapat dengan korelasi :

$$Nu_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/6}}{[1 + 0.492/Pr^{9/16}]^{4/9}} \quad Ra_L \leq 10^9$$

2. Plat Horizontal



Gambar 2.7 (a) Bagian atas plat dingin (b) Bagian bawah plat dingin (c) Bagian atas plat panas (d) Bagian bawah plat panas

Untuk plat horizontal (segi empat, bujur sangkar, lingkaran) didefinisikan karakteristik yaitu:

$$L = \frac{A_s}{P}$$

Dimana:

A_s = luas permukaan plat

P = keliling plat

Bilangan Nusselt dihitung dengan persamaan:

- Bagian atas plat panas atau bagian bawah plat dingin:

$$Nu_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7, Pr \geq 0.7)$$

$$Nu_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}, \text{all } Pr)$$

- Bagian bawah plat panas atau bagian atas plat dingin:

$$Nu_L = 0.52 Ra_L^{1/5} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^9, Pr \geq 0.7)$$

2.2.2.2 Konveksi Paksaan

Konveksi paksaan (forced convection) adalah perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya tenaga dari luar.

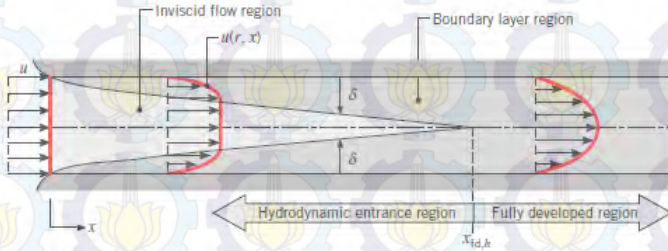
Contoh : plat panas dihembus udara dengan kipas/blower

Besarnya konveksi tergantung pada :

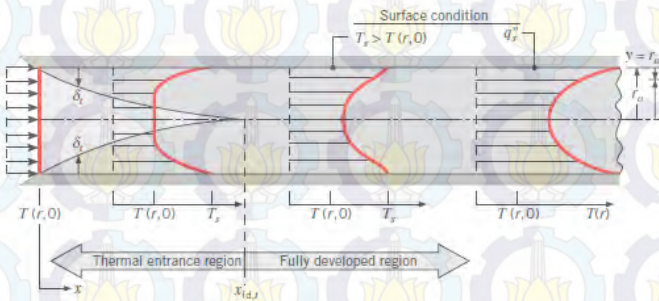
- a. Luas permukaan benda yang bersinggungan dengan fluida (A).
- b. Perbedaan suhu antara permukaan benda dengan fluida (ΔT).
- c. koefisien konveksi (h), yang tergantung pada :
 - viscositas fluida
 - kecepatan fluida
 - perbedaan temperatur antara permukaan dan fluida
 - kapasitas panas fluida
 - rapat massa fluida
 - bentuk permukaan kontak
 -

2.3 Aliran Internal

Profil kecepatan pada aliran internak dapat dilihat pada gambar 2.8 dan profil temperatur dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.8 Profil kecepatan pada aliran internal



Gambar 2.9 profil temperature pada aliran internal $T_{r,0} < T_s$

Fluida masuk dengan kondisi $T_{r,0} < T_s$ maka terjadi perpindahan panas konveksi dan mulai terjadi pertumbuhan boundary layer thermal. Untuk aliran laminar thermal entry length:

$$\left(\frac{X_{fd,t}}{D}\right)_{lam} \approx 0.05 Re_D Pr \quad \text{thermal}$$

$$\left(\frac{X_{fd,h}}{D}\right)_{lam} \approx 0.05 Re_D \quad \text{hidrodinamik}$$

Untuk harga $Pr > 1$ pertumbuhan hydrodynamic boundary layer lebih cepat dari pada pertumbuhan thermal boundary layer.

Untuk aliran turbulen pengaruh Pr tidak berarti sehingga pendekatannya adalah

$$\left(\frac{X_{fd,t}}{D}\right) = 10$$

2.3.1 Kondisi Fully Developed

Konveksi internal ada dua tipe yaitu fluks panas konstan untuk aliran laminar:

- a. Constant surface heat flux

Jika kasus yang terjadi adalah perpindahan panas dimana ΔT pada seluruh permukaan perpindahan panas sama, maka q'' diseluruh permukaan konstan.

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = 4.36 \quad \rightarrow q'' = \text{konstan}$$

- b. Constant surface temperatur:

Jika kasus yang terjadi adalah perpindahan panas dimana T_s pada seluruh permukaan perpindahan panas sama, maka q'' local diseluruh permukaan tidak sama.

$$Nu_D = \frac{hD}{k} = 3.36 \quad \rightarrow T_s = \text{konstan}$$

2.4 Bilangan Reynold, Bilangan Nusselt, Bilangan Prandtl

2.4.1 Bilangan Reynold

Bilangan Reynold (Re) merupakan parameter non-dimensi yang menunjukkan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek yang terjadi. Bilangan Reynold ini dapat digunakan untuk menentukan aliran yang terjadi termasuk

ke dalam aliran laminar atau turbulen. Secara umum bilangan Reynold dapat di rumuskan dalam bentuk persamaan berikut:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu}$$

Dimana:

V = kecepatan fluida (m/s)

L = panjang lintasan (m)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

μ = viskositas (N.s/m^2)

ν = viskositas kinematic (m^2/s)

Dan persamaan untuk aliran di dalam pipa, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

Dimana:

D = diameter pipa (m)

2.4.2 Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt (Nu) merupakan parameter non-dimensi yang menunjukkan perbandingan antara koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan koefisien (k). Bilangan Nusselt dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

Dimana:

L = panjang (m)

h = koefisien konveksi ($\text{W/m}^2.\text{K}$)

k = koefisien konduksi (W/m.K)

Apabila aliran berada dalam pipa, maka bilangan Nusselt identik dengan bilangan Reynold dimana persamaan diatas menjadi fungsi dari diameter (D). Selain perumusan diatas, bilangan Nusselt juga merupakan fungsi dari bilangan Reynold dan bilangan Prandtl, seperti yang dijabarkan dalam persamaan di bawah ini:

$$Nu = f(Re, Pr)$$

Perumusan Nusselt sebagai fungsi dari kedua parameter tersebut, tergantung pada kondisi aliran. Aliran tergolong dari aliran eksternal (diluar atau tanpa dibatasi pembatas), atau internal (di dalam pembatas).

2.4.3 Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl (Pr) adalah parameter non-dimensi yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dengan diffusivitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, dan difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Bilangan Prandtl dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{c_p}{k} = \frac{c_p \mu}{k}$$

Dimana:

v = viskositas kinematik (m^2/s)

α = diffusivitas panas (m^2/s)

C_p = kapasitas panas (J/kg^0K)

ρ = density fluida (kg/m^3)

k = konduktivitas panas fluida (W/m^0K)

μ = viskositas dinamik ($kg/s.m$)

Umumnya bilangan Prandtl adalah properties dari fluida, sehingga perhitungannya jarang dilakukan.

2.5 Termoelektrik

Pendinginan termoelektrik (thermoelectric cooler) adalah pendingin yang menggunakan elmen peltier dalam sistemnya sebagai pompa kalor. Efek peltier adalah efek yang terjadi apabila sebuah perangkat termoelektrik mengkonversi energy listrik menjadi perbedaan temperatur. Bila hal yang sebaliknya terjadi yaitu terjadi konversi dari perbedaan temperatur menjadi energy listrik maka dinamakan efek seebeck.

2.5.1 Sejarah Penemuan Energi Termoelektrik

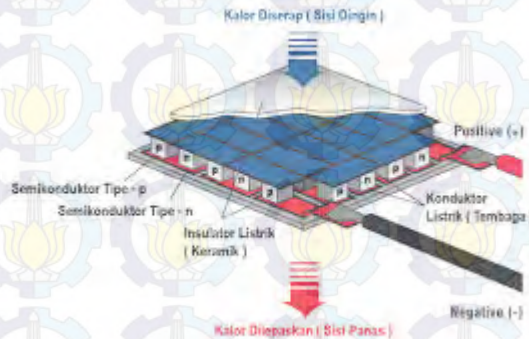
Efek peltier pertama kali ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834 dengan memberikan tegangan pada dua sambungan logam yang berbeda, yang ternyata menghasilkan perbedaan temperature. Sedangkan termoelektrik sebagai sebuah sistem pertama kali diteliti pada tahun 1950. Termoelektrik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

Penggunaan 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.

2.5.2 Prinsip Kerja 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 yang mempunyai 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, sisi elemen peltier yang menjadi sisi panas maupun dingin tergantung dari arah aliran arus listrik.



Gambar 2.10 Skema Aliran Peltier

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalirnya electron dari tingkat energy yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-P, ke tingkat energy yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-N. agar elektron tipe-P yang mempunyai tingkat energy yang lebih rendah dapat mengalir maka electron menyerap kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin. Sedangkan pelepasan kalor kelingkungan terjadi pada sisi panas, dimana electron mengalir dari tingkat energy yang lebih tinggi (semikonduktor tipe-N) ke tingkat energy lebih rendah (semikonduktor tipe-P), untuk dapat mengalir ke semikonduktor tipe-P, kelebihan energy tipe-N dibuang kelingkungan sisi tersebut menjadi panas.

Penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada satu 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 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, electron mengalir dari semikonduktor pada tipe-P yang kekurangan energy, menyerap kalor pada bagian yang didinginkan kemudian mengalir ke semikonduktor tipe-N. semikonduktor tipe-N yang kelebihan energy membuang energy tersebut ke lingkungan dan mengalir ke semikonduktor tipe-P dan seterusnya.



Gambar 2.11 Arah aliran electron pada modul termoelektrik

2.5.3 Parameter Penggunaan Elemen Termoelektrik

Didalam penggunaan elemen termoelektrik terdapat 3 parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Temperatur Permukaan Sisi Panas Peltier/hot side (T_h)

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi panas. Dimana temperature sisi panas (hot side) elemen peltier dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T_h = T_\infty + (\theta)Q_h$$

Dimana:

T_h = Temperatur Sisi Panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_∞ = Temperatur Ambient ($^{\circ}\text{C}$)

θ = Tahanan termal dari elemen peltier ($^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$)

Persamaan tersebut dapat digunakan ketika menggunakan pendingin menggunakan udara secara natural maupun konveksi paksa (forced convection) misalnya dengan penambahan fan.

2. Temperatur Permukaan Sisi Dingin Peltier/cold side (T_c)

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi dingin. Sisi dingin ini harus ditentukan agar suhunya lebih dingin dari temperature yang diinginkan pada bagian yang didinginkan. Sisi dingin ini harus ditentukan agar tercapai suhu dingin yang kita inginkan. Perbedaan temperature antara sisi panas dan sisi dingin disebut juga delta temperature (ΔT) yang ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta T = T_h - T_c$$

Pada elemen peltier konvensional, delta temperature (ΔT) yang dapat dihasilkan berkisar antara 30°C - 40°C tergantung dari jenis dan kualitas elemen peltier yang digunakan

3. Beban kalor yang dapat dialirkan dari obyek yang didinginkan (Q_c)

Factor lain yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaan elemen peltier untuk aplikasi umum ialah material alat yang digunakan dan pertimbangan terhadap lingkungan sekitar. Heatsink harus dibuat dari material yang memiliki nilai konduktivitas thermal yang tinggi untuk memudahkan proses perpindahan kalor.

Factor dari lingkungan seperti kelembaban (humidity) dan kondensasi dari sisi dingin (cold side) yang harus diminimalisir dengan metode sealing yang tepat. Sealing berfungsi untuk melindungi elemen peltier dari kontak dengan air, gas, mengurangi kemungkinan korosi, korsleting listrik atau thermal yang dapat merusak peltier.

2.5.4 Aplikasi Termoelektrik

Aplikasi termoelektrik telah digunakan di berbagai bidang, tidak hanya sebagai pendingin tetapi juga sebagai pembangkit daya, sensor energy thermal maupun digunakan pada bidang militer, ruang angkasa, instrument, biologi, medical, dan industry serta produk komersial lainnya.

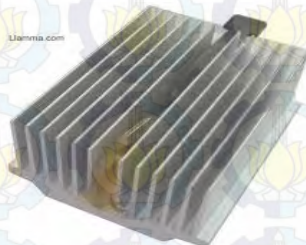
Aplikasi termoelektrik sebagai alat pendingin terdiri dari aplikasi untuk mendinginkan peralatan elektronik, air conditioner maupun untuk lemari pendingin. Penggunaan termoelektrik juga di aplikasikan pada tutup kepala sebagai pendingin kepala. Pada dunia otomotif juga telah dikembangkan termoelektrik intercooler. Aplikasi termoelektrik sebagai pembangkit daya rendah meliputi pemanfaatan panas tubuh manusia untuk menjalankan jam tangan, sedangkan pembangkit daya tinggi pada termoelektrik memanfaatkan panas dari sisa pembuangan yang dihasilkan dari industry maupun pemanfaatan sisa panas dari pembakaran bahan bakar.

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 refrigerant yang dapat merusak ozon, termoelektrik dapat juga digunakan pada lingkungan yang sensitive, tidak adanya ketergantungan terhadap posisi peletakan, ketelitian kontrol temperatur $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ dapat dicapai dengan menggunakan termoelektrik, dan cocok digunakan pada 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.

2.6 Heatsink

Heatsink dapat kita sebut sebagai material yang dapat menyerap dan mendisipasi panas dari suatu tempat yang bersentuhan dengan sumber panas dan membuangnya. Heatsink digunakan pada beberapa teknologi pendingin seperti refrigeration, mesin pemanas, pendingin elektronik dan laser. Terdapat 2 bagian heatsink yaitu bagian penyerap panas dan bagian pendinginan, pada bagian penyerapan panas biasanya terbuat dari aluminium atau tembaga. bagian pendinginan terbuat dari aluminium. Teknologi pendinginan ini ditemukan oleh Daniel L.Thomas pada tahun 1982. Heatsink dapat diaplikasikan pada beberapa jenis pendingin sehingga performa dari heatsink sendiri dapat berbeda-beda tergantung pada pendingin tambahan yang menyertainya. Heatsink dapat digunakan tanpa penambahan perangkat pendinginan lain seperti kipas dan air atau disebut dengan pasif cooling, penggunaan pasif cooling banyak diaplikasikan pada chipset mainboard, VGA, PWM dan chipset memory.



Gambar 2.12 Heatsink

2.6.1 Karakteristik Heatsink

Beberapa diantaranya karakter Heatsink adalah :

1. Luas area heatsink akan menyebabkan disipasi panas menjadi lebih baik karena akan memperluas area pendinginan yang

dapat mempercepat proses pembuangan panas yang diserap oleh heatsink.

2. Bentuk aerodinamik yang baik dapat mempermudah aliran udara panas agar cepat dikeluarkan melalui sirip-sirip pendingin. Khususnya pada heatsink dengan jumlah sirip yang banyak tetapi dengan jarak antar sirip berdekatan akan membuat aliran udara tidak sempurna sehingga perlu ditambahkan sebuah kipas untuk memperlancar aliran udara pada jenis heatsink tersebut.
3. Transer panas yang baik pada setiap heatsink
4. juga akan mempermudah pelepasan panas dari sumber panas ke bagian sirip-sirip pendingin. Desain sirip yang tipis memiliki memiliki konduktifitas yang lebih baik.
5. Desain permukaan dasar heatsink sampai pada "mirror finish" atau tingkat kedatarannya tinggi sehingga dapat menyentuh permukaan sumber panas lebih baik dan merata. Hal ini dapat menyebabkan penyerapan panas lebih sempurna, tetapi untuk menghindari resistensi dengan sumber panas heatsink tetap harus menggunakan suatu pasta atau thermal compound dan agar luas permukaan sentuh juga lebih merata.

2.6.2 Bahan / Material Heatsink

Cepat rambatnya proses perpindahan panas, bergantung pada bahan dasar yang digunakan untuk membuat Heatsink. karena proses perpindahan panas pada heatsink terjadi secara konduksi maka besarnya konduktivitas dari sebuah bahan baku (metal) sangat menentukan. Semakin besar nilai konduktivitas dari sebuah bahan (metal) maka akan semakin cepat proses perpindahan panas berlangsung dan nilai konduktivitas bahan berbeda-beda. Konduktivitas panas dari sebuah Heatsink adalah faktor utama suatu Heatsink dapat mendisipasi panas dengan baik. Bahan pembuat heatsink ada berbagai macam seperti aluminium, tembaga bahkan silver. Selain bahan, bentuk dan ukuran heatsink bermacam-macam tergantung perancangan sang produsen Heatsink dengan berbagai teknik, tetapi memiliki out-

put atau tujuan yang sama yaitu mendinginkan komponen komputer. Beberapa diantaranya bahan atau material Heatsink adalah :

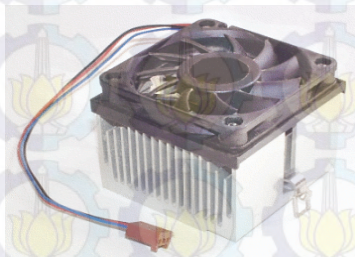
1. Silver/perak dan emas memiliki tingkat konduktivitas tertinggi tetapi dengan harga yang sangat mahal maka tidak dimungkinkan para produsen untuk membuat dan memasarkan produk pendingin dengan bahan dasar ini.
2. Copper atau Tembaga memiliki konduktivitas tertinggi ke 2 sehingga penyerapan panasnya juga baik. Tembaga memiliki sifat menyerap panas dengan cepat tetapi tidak bisa melepaskan panas dengan cepat sehingga bisa terjadi penumpukan panas pada 1 tempat. Selain itu kekurangan yang menyertainya yaitu memiliki berat yang lebih besar dari pada aluminium, harga yang mahal, dan proses produksi yang rumit.
3. Aluminium memiliki tingkat konduktivitas dibawah tembaga sehingga penyerapannya kurang sempurna, tetapi memiliki kemampuan terbalik dengan tembaga yaitu memiliki kemampuan melepas atau mengurai panas dengan baik tetapi bahan aluminium kurang baik dalam penyerapan panas dan memiliki harga yang lebih rendah dengan berat yang ringan.
4. Penggabungan antara kedua material tersebut merupakan kombinasi yang sangat baik. Disatu sisi tembaga dapat menyerap panas dengan cepat dan disisi lain aluminium dapat melepaskan panas yang diserap oleh tembaga. Kombinasi ini digunakan oleh para produsen heatsink untuk memproduksi produk heatsink mereka dengan kombinasi 2 material pendingin ini.

2.6.3 Fungsi Heatsink

Fungsi sebenarnya dari Heatsink adalah memperluas daerah perpindahan panas dari sebuah penghasil panas sehingga proses pembuangan panas dapat cepat terjadi. Jika panas yang dibuang cepat maka dapat membantu pendinginan dari sebuah alat penghasil panas. Guna memperluas area permukaan

perpindahan panas, salah satu tekniknya adalah dengan membuat sirip-sirip yang ada disamping atau atas dari heatsink, sehingga dengan ukuran luas penampang yang sama akan menghasilkan luas perpindahan panas yang besar. Tebal tipisnya sirip juga berpengaruh dari proses perpindahan panas, semakin tebal akan semakin sukar/lama panas menjalar keseluruh bagian heatsink. Bentuk Fin (sirip) sebaiknya yg berupa irisan langsung dari dasar Heatsink, pada beberapa merek heatsink Fin-nya berupa tempelan. Jelas bahan penempel tersebut merupakan hambatan proses perambatan panas.

2.6.3.1 Fan sebagai Penunjang Heatsink



Gambar 2.13 Heatsink Fan

Setelah luas area perpindahan panas menjadi luas, barulah kipas (fan) berperan, karena laju aliran udara yang ada pada casing sangat kecil sehingga tidak mampu membantu mempercepat proses pembuangan panas dari Heatsink maka diperlukan sebuah kipas yang dipasang pada bagian tertentu pada heatsink, diatas atau disamping. putaran kipas dan sudu (propeler) kipas sangat menentukan proses pembuangan panas, karena kipas dengan kecepatan rendah akan menghasilkan aliran udara yang rendah begitu juga sebaliknya, jadi semakin tinggi putaran kipas semakin cepat aliran maka akan semakin cepat pula proses pembuangan panas. Perlu diingat, semakin cepat putaran kipas akan semakin berisik suara yang dihasilkan sebuah kipas.

Kecepatan kipas yang biasa digunakan pada Heatsink sekitar 2500 rpm (putaran per menit). Selain putaran seperti yang telah disebutkan diatas sudu/ propeler juga berpengaruh, banyak dan besarnya sangat mempengaruhi jumlah udara yang dihasilkan. Kemudian setelah fungsi Fan dan Heatsink dipadukan banyak orang menyebutnya sebagai HSF (Heatsink Fan). Jenis heatsink seperti ini disebut sebagai Heatsink aktif.

Perbedaan Heatsink dengan Heatsink Fan adalah adanya kipas diatas Heatsink Fan, sehingga hawa panas yang dihasilkan pun akan cepat keluar. Inilah alasan mengapa banyak orang beralih dari Heatsink ke Heatsink Fan, karena proses pendinginannya lebih cepat, hal ini disebabkan karena adanya bantuan dari kipas yang berada dibagian atas heatsink fan.

2.6.3.2 Cara Kerja Heatsink Fan

Kita telah mengetahui fungsi dari Heatsink lalu bagaimana cara kerja heatsink ?? Cara kerja dari HSF mirip seperti pada pendinginan menggunakan heatsink, tetapi pada HSF ditambahkan sebuah kipas untuk mempercepat proses transfer panas. HSF bekerja lebih baik daripada Heatsink. pada masa kini HSF menggunakan teknologi *heatpipe* yaitu pipa tembaga kecil untuk transfer panas dengan menggunakan konsep kapilaritas Heatsink bekerja selama proses penghasilan panas bekerja, jika suatu perangkat tidak bekerja/ menghasiklan panas maka Heatsink tidak akan bekerja. Heatsink akan menerima panas dari suatu perangkat misalnya dari permukaan yang bersentuhan lalu panas tersebut akan menyebar keseluruh bagian heatsink dengan sama rata besarnya melalui sirip-sirip.

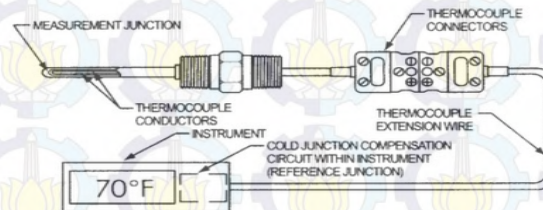
Panas yang telah menyebar tadi harus dibuang, yang berfungsi untuk membuang panas adalah Fan, Fan akan menyemburkan udara keseluruh bagian Heatsink dan membuang seluruh panas yang ada pada sirip-sirip tersebut. Dan sudah tentu, bahwa udara yang masuk/ disemburkan oleh Fan adalah udara dingin (udara suhu kamar), setidaknya-tidaknya temperatur udara yang masuk lebih rendah dari udara yang ada pada sumber kalor

selama proses pendinginan/ pembuangan panas berlangsung. Usahakan udara yang telah melalui Heatsink panas (udara panas keluar) tidak mengenai Heatsink yang lain. Jika ini terjadi sama saja menahan panas pada Heatsink yang lainnya. Sebaiknya hal-hal seperti ini dihindarkan.

2.7 Termokopel

2.7.1 Dasar – Dasar Termokopel

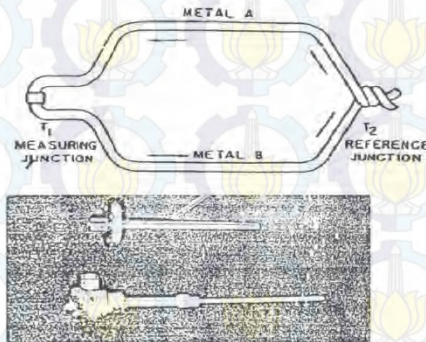
Termokopel adalah dua logam yang didekatkan yang apabila terpapar oleh kalor dengan suhu tertentu akan menghasilkan beda potensial. Termokopel Suhu didefinisikan sebagai jumlah dari energi panas dari sebuah objek atau sistem. Perubahan suhu dapat memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses ataupun material pada tingkatan molekul (Wilson, 2005). Sensor suhu adalah device yang dapat melakukan deteksi pada perubahan suhu berdasarkan pada parameter-parameter fisik seperti hambatan, ataupun perubahan voltage (Wilson, 2005). Salah satu jenis sensor suhu yang banyak digunakan sebagai sensor suhu pada suhu tinggi adalah Termokopel seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.14 Termokopel (Wilson, 2005)

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltage). Ketidaksamaan

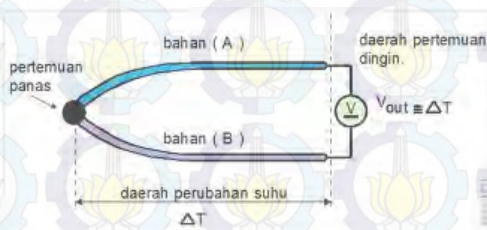
material (metal) yang dihubungkan menyebabkan terjadinya suatu beda tegangan pada sirkuit terbuka. V oltase ini perubahan temperatur pada sambungan tersebut. Sambungan kabel metal tersebut biasanya disebut dengan junction. Termokopel pada dasarnya adalah dua logam penghantar arus listrik dari bahan yang berbeda. Salah satu ujung-ujungnya dilas mati dan ujung yang satunya dibiarkan terbuka untuk sambungan ke lingkaran pengukuran. Sambungan yang di las mati disebut measuring junction sedangkan ujung yang satunya disebut reference junction.



Gambar 2.15 Sambungan Kabel Metal Termokopel

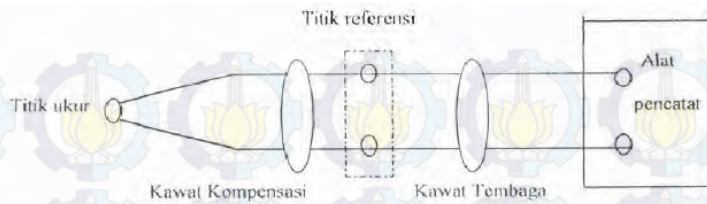
Termokopel dibangun berdasarkan Asas Seebeck dimana bila dua jenis logam yang berlainan disambungkan ini akan menjadi rangkaian tertutup sehingga perbedaan temperature pada sambungan akan menimbulkan beda potensial listrik pada kedua logam tersebut, selanjutnya akan dibaca oleh alat ukur temperatur (Fraden, 2003), hal ini diakibatkan oleh kecepatan gerak elektron dari dua material yang berbeda daya hantar panas sehingga mengakibatkan beda potensial. Dalam perancangan serta penggolongan dari termokopel sendiri sudah diatur oleh Instrument Society of America (ISA).

Termokopel yang sederhana dapat dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup antara -200°C sampai 1800°C dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C . Termokopel bekerja berdasarkan pembangkitan tenaga listrik pada titik sambung dua buah logam yang tidak sama (titik panas/titik ukur). Ujung lain dari logam tersebut sering disebut titik referensi (titik dingin) dimana temperaturnya konstan, seperti pada Gambar 2.8 :



Gambar 2.16 Rangkaian Dasar Termokopel

Umumnya, termokopel digunakan untuk mengukur temperatur berdasarkan perubahan temperatur menjadi sinyal listrik. Bila antara titik referensi dan titik ukur terdapat perbedaan temperatur, maka akan timbul GGL yang menyebabkan adanya arus pada rangkaian. Bila titik referensi ditutup dengan cara menghubungkannya dengan sebuah alat pencatat maka penunjukan alat ukur akan sebanding dengan selisih temperatur antara ujung panas (titik ukur) dan ujung dingin (titik referensi). Pada Gambar 2.13 dapat dilihat bentuk fisik dari sebuah termokopel. Bagian luar termokopel berupa tabung logam pelindung yang berguna untuk menjaga kondisi termokopel agar tidak terpengaruh banyak oleh lingkungan dimana alat tersebut ditempatkan.



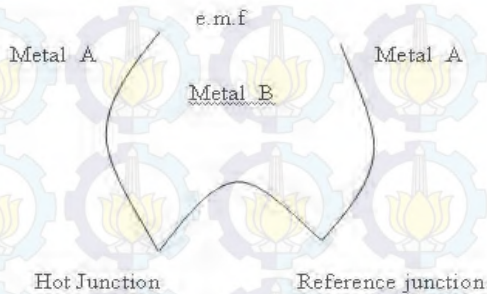
Gambar 2.17 Bentuk Fisik Termokopel

2.7.2 Prinsip Kerja Termokopel

Prinsip kerja dari termokopel adalah adanya perbedaan panas secara gradient yang akan menghasilkan tegangan listrik, hal ini disebut sebagai efek termoelektrik. Untuk mengukur perubahan panas ini gabungan dua macam konduktor sekaligus sering dipakai pada ujung benda panas yang diukur. Konduktor tambahan ini kemudian akan mengalami gradiasi suhu, dan mengalami perubahan tegangan secara berkebalikan dengan perbedaan temperatur benda. Menggunakan logam yang berbeda untuk melengkapi sirkuit akan menghasilkan tegangan yang berbeda, meninggalkan perbedaan kecil tegangan memungkinkan kita melakukan pengukuran, yang bertambah sesuai temperatur. Perbedaan ini umumnya berkisar antara 1 hingga 70 microvolt tiap derajat celsius untuk kisaran yang dihasilkan kombinasi logam modern. Beberapa kombinasi menjadi populer sebagai standar industri, dilihat dari biaya, ketersediaannya, kemudahan, titik lebur, kemampuan kimia, stabilitas, dan hasil. Sangat penting diingat bahwa termokopel mengukur perbedaan temperatur di antara 2 titik, bukan temperatur absolut.

Prinsip kerja termokopel secara sederhana berupa dua buah kabel dari jenis logam yang berbeda ujungnya, hanya ujungnya saja, disatukan (dilas). Titik penyatuan ini disebut hot junction. Prinsip kerjanya memanfaatkan karakteristik

hubungan antara tegangan (volt) dengan temperatur. Setiap jenis logam, pada temperatur tertentu memiliki tegangan tertentu pula. Pada temperatur yang sama, logam A memiliki tegangan yang berbeda dengan logam B, terjadilah perbedaan tegangan (kecil sekali, miliVolt) yang dapat dideteksi. Termokopel yang lebih komplit sirkuitnya memiliki 2 jungtion seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.18 Termokopel dengan 2 Jungtion

Jika kedua jungtion berada pada temperatur yang sama maka tidak ada Emf, jika terjadi perbedaan temperatur diantara dua junction maka terdapat Emf. Nilai Emf ini tergantung dari materialnya dan temperatur dari kedua juntionnya. Biasanya salah satu junction bernilai 0 ° C dan untuk lebih lanjutnya dapat digunakan persamaan dibawah ini :

$$E = at + bt^2$$

Dimana a dan b merupakan konstanta untuk metal-metal yang berhubungan tersebut.

Sirkuit termokopel dapat memiliki metal lain pada sirkuitnya dan ini tidak akan menimbulkan pada termoelektrik Emf yang menyebabkan junction berada pada temperatur yang sama. Termokopel juga dapat digunakan dengan junction referensi selain 0°C . tabel-tabel standar walaupun mengasumsikan satu junction berada pada temperatur 0°C juga menggunakan suatu koreksi yang telah diaplikasikan sebelum tabel tersebut digunakan, koreksi tersebut diaplikasikan dengan menggunakan apa yang disebut dengan *low of intermedieate temperatur*.

$$E_{t_0} = E_{t_1} + E_{t_0}^{E_{t_1}}$$

Emf E_{t_0} berada pada temperatur t ketika cold junction 0°C sama juga dengan E_{t_1} yang berada pada temperatur intermediate I tambah e.m.f $E_{I,0}$ pada temperatur I ketika cold junction pada temperatur 0°C . Untuk menjaga supaya salah satu junction berada pada temperatur 0°C , sebagai contohnya dilakukan dengan mencelupkannya kedalam campuran air dan es, tetapi hal ini kuranglah bagus. Untuk itu kompesasi sirkuit digunakan demi tersedianya suatu e.m.f yang berubah-ubah dengan temperatur cold junction, ketika ditambahkan pada termokopel yang menyebabkan cold junction berada pada temperatur 0°C .

2.7.3 Tipe-Tipe Termokopel

Beberapa jenis Termokopel diperlihatkan oleh gambar :

- tipe E (chromel-konstanta)
- tipe J (besi-konstanta)
- tipe T (tembaga-Konstanta)
- tipe K (chromel-alumel)
- tipe R atau S (platina-pt/rodium)

Tersedia beberapa jenis termokopel, tergantung aplikasi penggunaannya yaitu :

- a. Tipe K (Chromel (Ni-Cr alloy) / Alumel (Ni-Al alloy))
Termokopel untuk tujuan umum, lebih murah. Tersedia untuk rentang suhu $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b. Tipe E (Chromel / Constantan (Cu-Ni alloy))
Tipe E memiliki output yang besar ($68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) membuatnya cocok digunakan pada temperatur rendah, tipe E adalah tipe non magnetik.
- c. Tipe J (Iron / Constantan)
Rentangnya terbatas (-40 hingga $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$) membuatnya kurang populer dibanding tipe K.
- d. Tipe J memiliki sensitivitas sekitar $\sim 52\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
- e. Tipe N (Nicrosil (Ni-Cr-Si alloy) / Nisil (Ni-Si alloy))
Stabil dan tahan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe N cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu di atas $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sensitifitasnya sekitar $39\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ pada 900°C , sedikit di bawah tipe K. Tipe N merupakan perbaikan tipe K.
- f. Termokopel tipe B, R, dan S adalah termokopel logam mulia yang memiliki karakteristik yang hampir sama.

Mereka adalah termokopel yang paling stabil, tetapi karena sensitifitasnya rendah (sekitar $10\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) mereka biasanya hanya digunakan untuk mengukur temperatur tinggi ($>300\text{ }^{\circ}\text{C}$).

- Tipe B (Platinum-Rhodium/Pt-Rh) dapat mengukur suhu di atas $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tipe B memberi output yang sama pada suhu 0°C hingga 42°C sehingga tidak dapat dipakai di bawah suhu 50°C .
- Tipe R (Platinum /Platinum with 7% Rhodium) dapat mengukur suhu di atas $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. sensitivitas rendah

($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum.

- Type S (Platinum /Platinum with 10% Rhodium) dapat mengukur suhu di atas $1600 \text{ }^\circ\text{C}$. sensitivitas rendah ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) dan biaya tinggi membuat mereka tidak cocok dipakai untuk tujuan umum. Karena stabilitasnya yang tinggi Tipe S digunakan untuk standar pengukuran titik leleh emas ($1064.43 \text{ }^\circ\text{C}$).
- g. Type T (Copper / Constantan)
Cocok untuk pengukuran antara -200 hingga $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Konduktor positif terbuat dari tembaga, dan yang negatif terbuat dari konstantan. Sering dipakai sebagai alat pengukur alternatif sejak penelitian kawat tembaga. Type T memiliki sensitifitas $\sim 43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

2.8 Thermal Paste

Thermal Paste = Thermal Grease = Thermal Compound yaitu cairan padat / pasta yang digunakan untuk melancarkan aliran panas dari komponen yang diolesi Thermal Paste ini. Jadi fungsi sebenarnya dari Thermal Paste ini adalah melancarkan aliran Panas, bukan Untuk Mendinginkan. Karena fungsi pendinginan masih dipegang oleh cooler fan / Fan + Heatsink / dll, bukan dengan Thermal Paste.



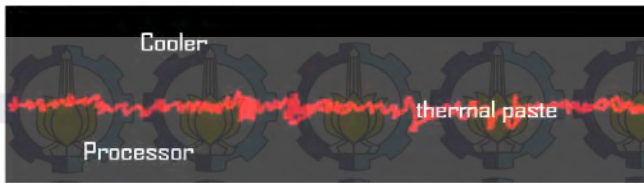
Gambar 2.19 Kegunaan Thermal Paste

Thermal paste pada dasarnya bukan mendinginkan processor, Thermal Paste berfungsi memperlancar proses panas dari processor ke heatsink. Jika dilihat dibawah mikroskop, baik permukaan heatsink tidak 100% rata. Thermal Paste menutupi seluruh titik kosong sehingga seluruh bagian processor tercakup oleh heatsink. Tanpanya kita akan mendapati gelembung udara mikroskopik yang merupakan insulator yang baik dan sesuatu yang sangat kita hindari.

Konduktivitas panas dan Thermal Paste berkisaran dari 0.3 sampai 7 W/m.K, walau tidak terlihat jauh berbeda, tipe yang lebih baik dapat menurunkan beberapa derajat tambahan. Semua Thermal Paste pada umumnya terdiri dari sebuah medium, biasanya silikon tapi terkadang juga mineral oil. Pasangannya adalah suatu serbuk halus yang umumnya ada lima jenis, yang paling umum adalah serbuk putih yang terbuat dari zinc oxide dan silicon, berikutnya adalah yang berbahan dasar keramik, kemudian ada lagi yang berbahan dasar metal dengan serbuk aluminium ataupun silver yang lebih baik dari keramik. Ada juga yang berbahan dasar carbon yang mengandung serbuk berlian, dan terakhir berbahan liquid metal yang biasanya terbuat dari gallium. Ia paling baik menyalurkan panas karena tidak memiliki medium.

Thermal Paste yang buruk biasanya tidak bertahan lama dan kita akan mendapat hasil jauh lebih baik dengan menghapusnya dengan pembersih dan menaruh Thermal Paste baru, cukup keluarkan sebesar butir nasi, lalu ratakan, kita ingin menutupi seluruh permukaannya. Bila keduanya ditempelkan, maka terdapat rongga atau celah. Celah itulah yang menyebabkan proses penempelan ke Heatsink tidak maksimal.

Disinilah fungsi utama dari Thermal Paste, yaitu yang akan mengisi celah - celah itu sehingga proses transfer panas menjadi sempurna. Karena thermal paste memiliki sifat konduktor yang lebih baik dari pada udara. Berikut gambar penampang penempelan Heatsink yang menggunakan Thermal Paste.



Gambar 2.20 Penampang Penempelan Heatsink yang Menggunakan Thermal

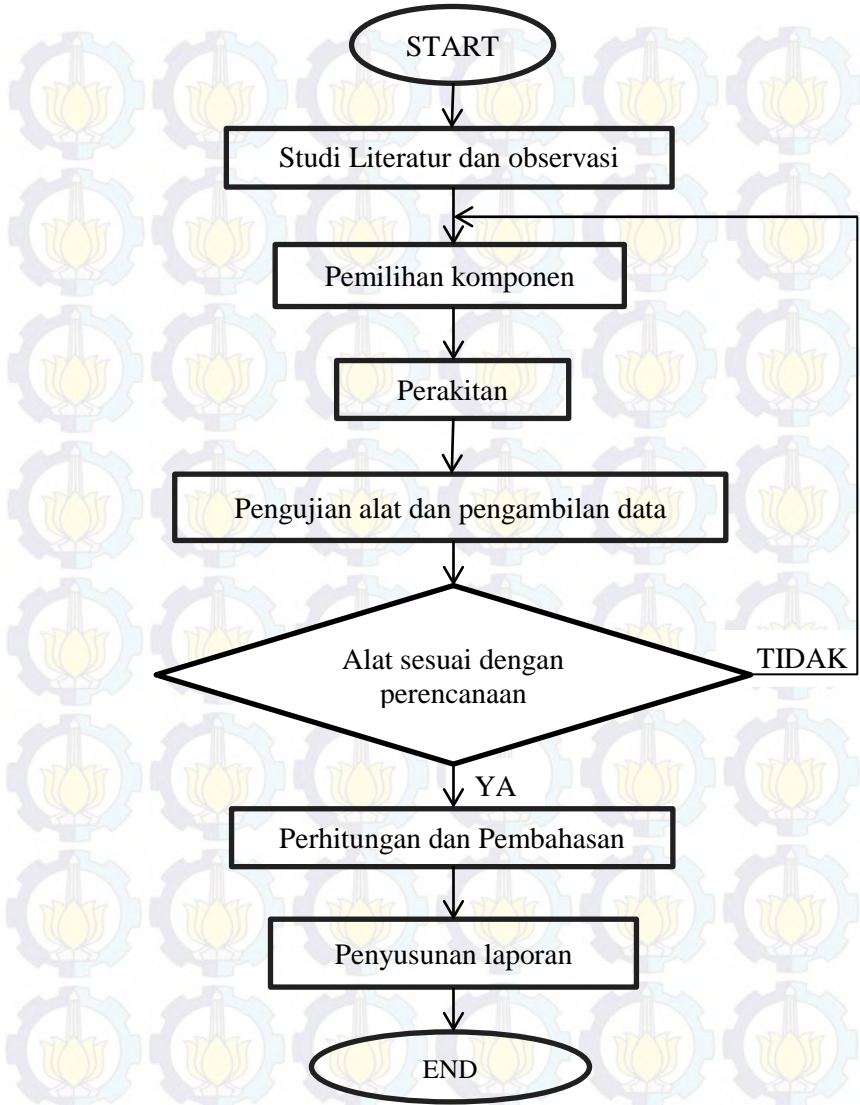
Karena memiliki permukaan yang tidak rata maka mustahil processor dan heatsink menyatu secara sempurna. Jadi kalau dibiarkan keadaan seperti itu maka panas dari processor tidak akan diserap sempurna oleh heatsink dan bisa menyebabkan overheating (panas yang berlebihan) dari processor dan fatalnya bisa menyebabkan komputer restart melulu atau bisa juga menyebabkan processor menjadi rusak. Untuk menghindari overheating maka diperlukan perantara yang bagus antara processor dan heatsink, dan itulah fungsi dari thermal paste. thermal paste berfungsi sebagai penghantar panas dari processor menuju heatsink sehingga over heating processor dapat dihindari.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang tepat sebelum melakukan pengujian perlu dibuat guna memudahkan dan memperlancar pelaksanaan pengujian.

Dibawah ini adalah langkah-langkah percobaan dan pengambilan data dari portable cold storage dengan menggunakan modul termoelektrik dengan total tegangan dan arus 12 volt dan 10 ampere. Untuk memperjelas alur dari pengerjaan tugas akhir ini, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Portable Cold Storage



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Portable Cold Storage

3.2 Penjelasan Diagram Alir Proses Pembuatan Portable Cold Storage

Dalam pembuatan portable cold storage dan tugas akhir ini melalui beberapa proses. Adapun prosesnya seperti diagram alir pada gambar 3.1 dan di bawah ini merupakan penjelasan dari proses-proses pembuatan portable coldstorage dan tugas akhir. Penjelasannya adalah sebagai berikut:

3.2.1 Studi Literatur dan Observasi

Studi literatur yang di maksud adalah mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai perencanaan potable cold storage dan pengetahuan mengenai komponen-komponen apa saja yang digunakan pada alat pendingin ruangan. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku, diktat, yang mengacu pada referensi, tugas akhir yang berkait, media internet.

Sebelum merencanakan portable cold storage maka harus dilakukan pengamatan secara langsung berupa dimensi, bahan hingga komponen yang digunakan pada alat sebelumnya, dari pengamatan tersebut dapat diketahui bagaimana prinsip kerja portable cold storage, komponen yang digunakan, dan lain sebagainya yang menunjang dan berhubungan dengan penyusunan laporan tugas akhir ini.

3.2.2 Pengumpulan Data

Dari studi literatur dan observasi mengenai portable cold storage yang menggunakan aluminium yang ditempel pada box.

3.2.3 Pemilihan Komponen

Setelah melakukan pengumpulan data, selanjutnya dilakukan pemilihan komponen yang dibutuhkan seperti pemilihan fin, pemilihan fan, pemilihan peltier serta pemilihan kelistrikan.

3.2.4 Perakitan

Dari komponen-komponen yang diperoleh kemudian dilakukan perakitan untuk membuat alat yang sesuai dengan desain yang telah dibuat.

3.2.5 Pengujian Alat dan Pengambilan Data

Setelah perakitan portable cold storage selesai maka langkah selanjutnya yaitu pengujian alat dapat dilakukan. Selama pengujian portable cold storage tersebut, pengambilan data dengan menunggu portable cold storage selama 2 jam yang telah terpasang 8 thermocouple untuk mengetahui temperature pada 4 dinding portable cold storage dan 4 bagian yang ada di tengah portable cold storage.

3.2.6 Perhitungan dan Pembahasan

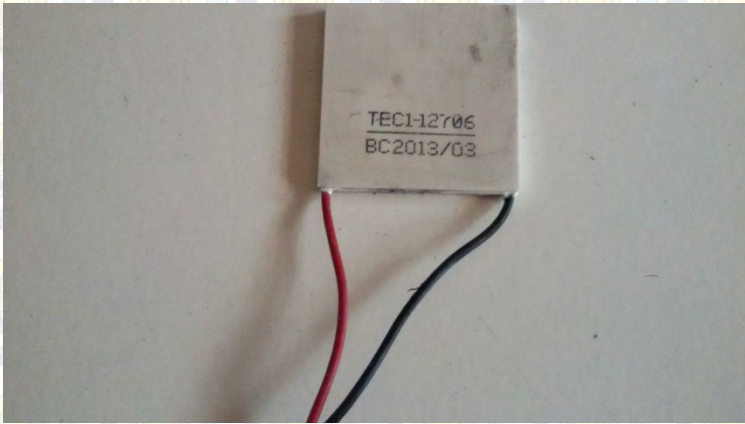
Setelah melakukan pengujian, data yang digunakan dalam perhitungan nanti adalah data percobaan pada saat portable cold storage peltier dapat mendinginkan ruangan pendingin.

3.2.7 Penyusunan Laporan

Tahap ini merupakan ujung dari pembuatan portable cold storage, dengan menarik kesimpulan yang di dapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

3.3 Spesifikasi Komponen yang Digunakan

3.3.1 Modul Peltier



Gambar 3.2 Modul Peltier (Termoelektrik)

Modul peltier (termoelektrik) yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe TEC1-12706
- Berdimensi 40mm x 40mm x 40mm
- Pengoperasian pada arus DC
- Dapat bekerja pada tegangan dan arus 12 volt dan 10 ampere (maksimum)

3.3.2 Heatsink



Gambar 3.3 Heatsink

Sedangkan untuk heatsink yang kita gunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Bahan aluminium
- Dimensi
 - Diameter : 89 mm
 - Panjang fin : 27,8 mm
 - Tebal fin : 0,2 mm
 - Jarak antar fin : 5,2 mm
- Mempunyai 64 fin dalam satu heatsink

3.3.3 Fan



Gambar 3.4 Fan

Sedangkan fan yang digunakan berbentuk lingkaran memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Berbahan plastik
- Memiliki diameter 89 mm
- Tebal kerangka fan 25 mm
- Memerlukan tegangan dan arus input masing-masing 5 volt dan 0,3 ampere

3.3.4 Power Supply



Gambar 3.5 Power Supply

Power supply adalah perangkat keras berupa kotak yang isinya merupakan kabel-kabel untuk menyalurkan tegangan ke dalam perangkat keras lainnya. Perangkat keras ini biasanya terpasang di bagian belakang (di dalam) casing komputer. Input power supply berupa arus bolak-balik (AC) sehingga power supply harus mengubah tegangan AC menjadi DC (arus searah). Besarnya listrik yang mampu ditangani power supply ditentukan oleh dayanya dan dihitung dengan satuan Watt.

3.3.5 Portable Cold Storage



Gambar 3.6 Portable Cold Storage

Cold storage terbuat dari bahan gabus dengan dilapisi stainless steel yang direkatkan pada dinding box gabus. Memiliki dimensi 190mm x 140mm x 110mm

3.3.5 Thermal Paste



Gambar 3.7 Thermal Paste

Thermal paste atau thermal grease atau thermal compound yaitu cairan padat atau pasta yang digunakan untuk melancarkan aliran panas dari komponen yang diolesi thermal paste ini.

3.4 Fungsi dan Cara Kerja Alat Ukur yang Digunakan

3.4.1 Ampermeter dan Voltmeter

Berfungsi untuk mengukur arus atau tegangan yang melewati penghantar.



Gambar 3.8 Ampermeter dan Voltmeter

Cara kerja:

1. Ketika arus atau tegangan mengalir melalui kumparan (di dalam amperemeter dan voltmeter) yang dilingkupi oleh medan magnet akan timbul Gaya Lorentz yang menggerakkan jarum penunjuk.
2. Jika arus atau tegangan yang melewati kumparan besar maka gaya yang timbul juga akan membesar sehingga penyimpangan jarum penunjuk juga membesar.

3.4.2 Thermometer

Berfungsi untuk mengukur temperatur udara dalam ruangan dan mengukur temperatur permukaan plat datar di dalam portable cold storage.



Gambar 3.9 Thermometer digital

Cara kerja :

1. Saat sensor thermometer diletakkan pada suatu ruangan atau permukaan *heatsink* yang akan di ukur, sensor membaca suhu dan mengubahnya menjadi angka pada LCD.
2. Angka pada LCD berubah – ubah sesuai dengan suhu yang diukur.

Prosedur pengukuran :

1. Memasang kabel negative (berwarna hitam) di ground thermometer, dan kabel positif (berwarna merah) pada probe thermometer.
2. Memasang ujung thermocouple ke permukaan yang akan di ukur temperaturnya.

3. Nyalakan thermometer
4. Membaca temperatur pada LCD.

3.4.3 Anemometer

Berfungsi untuk mengukur kecepatan dan arah aliran udara.



Gambar 3.10 Anemometer

Cara kerja :

1. Pada anemometer terdapat dua komponen utama, yaitu rotor dan stator.
2. Saat anemometer digunakan untuk mengukur aliran udara maka rotor akan berputar.
3. Putaran dari rotor dibaca dan diubah menjadi suatu nilai yang ditampilkan oleh LCD.
4. Semakin cepat angin yang melewati rotor, semakin cepat putaran rotor dan nilai pada LCD juga meningkat. Begitu pula sebaliknya.

Prosedur pengukuran :

1. Nyalakan saklar power dan pastikan anemometer bekerja dengan baik.
2. Arahkan anemometer ke tempat yang akan diukur kecepatan aliran udaranya.
3. Tekan tombol ukur.
4. Tunggu hingga LCD menunjukkan hasil yang stabil.
5. Lepas tombol dan lihat hasil pengukuran pada LCD.

3.5 Perancangan Alat Peraga

Sebelum melaksanakan perancangan pada *portable cold storage* ini harus diperhatikan beberapa langkah persiapan diantaranya :

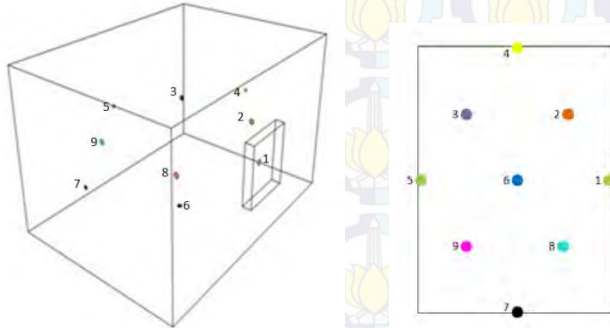
1. Memastikan kondisi komponen utama dalam keadaan baik.
2. Pembuatan *casing*
3. Pemasangan modul teroelektrik pada *heatsink* dengan thermal paste.
4. Pemasangan *heatsink* dan fan pada *chasing*.
5. Pemasangan komponen listrik agar alat peraga dapat bekerja dengan media power suply.
6. Pemasangan 9 thermocouple di dalam alat peraga.
7. Pemasangan alat ukur thermometer
8. Alat peraga siap untuk dilakukan pengujian

3.6 Prosedur Pengujian Alat

Setelah melakukan perancangan alat, alat siap untuk dilakukan pengujian. Beberapa langkah pengujian diantaranya :

1. Memastikan kondisi komponen sistem utama dalam keadaan baik.
2. Memastikan alat ukur dapat bekerja dalam kondisi baik
3. Mempersiapkan satu buah tabel untuk pengambilan data
4. Mengukur temperatur ruangan, temperatur *heatsink*, kecepatan udara *heatsink*, tegangan listrik dan arus listrik.

5. Mengambil data temperatur pada 9 thermocouple yang terpasang setiap 5 menit sekali selama 120 menit.

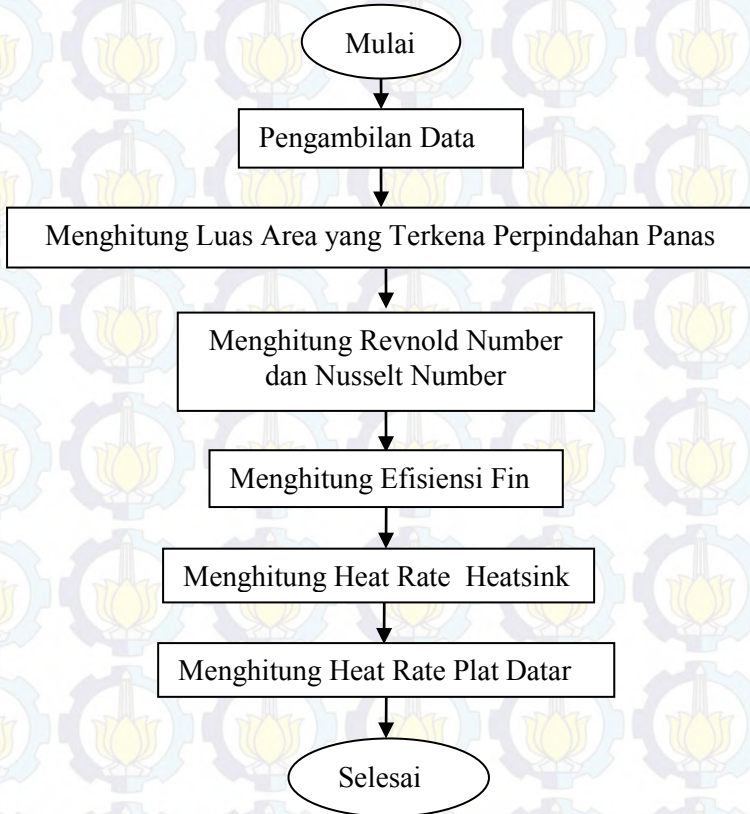


Tampak atas

Gambar 3.11 Letak titik pengamatan

BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Diagram Alir Proses Perhitungan



Gambar 4. 1 Diagram Alir Proses Perhitungan

4.2 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 1 Data Hasil Percobaan

Menit ke-	T ₁ °C	T ₂ °C	T ₃ °C	T ₄ °C	T ₅ °C	T ₆ °C	T ₇ °C	T ₈ °C	T ₉ °C	V	A
0	27	27	27	27	27	27	27	27	27	12	6
5	16	24	26	24	26	25	24	25	26	12	6
10	15	24	26	23	26	24	23	24	25	12	6
15	15	23	25	23	25	24	23	24	25	12	6
20	14	23	25	23	25	24	23	24	25	12	6
25	14	23	25	23	25	24	23	24	25	12	6
30	14	23	25	23	25	24	23	23	25	12	6
35	14	23	25	23	25	24	23	23	25	12	6
40	13	23	25	22	25	24	23	23	25	12	6
45	13	21	25	22	25	23	22	22	24	12	6
50	13	21	25	22	24	23	22	22	24	12	6
55	13	21	25	22	24	23	22	21	24	12	6
60	13	20	24	22	24	23	22	21	24	12	6
65	11	20	24	22	24	23	22	21	24	12	6
70	11	20	24	21	24	23	22	21	23	12	6
75	11	20	24	21	23	23	21	20	23	12	6
80	11	20	23	21	23	22	21	20	23	12	6
85	10	20	23	21	23	22	21	20	22	12	6
90	10	20	23	21	23	22	21	20	22	12	6
95	10	20	23	20	23	21	20	20	22	12	6
100	9	20	22	20	22	21	20	20	21	12	6
105	9	19	22	20	22	20	20	19	21	12	6
110	8	19	21	20	22	20	20	19	20	12	6
115	8	19	21	20	22	20	20	19	20	12	6
120	8	19	21	20	22	20	20	19	20	12	6

4.3 Perhitungan Konveksi pada Heatsink Sisi Panas



Gambar 4. 2 Sketsa *heatsink* sisi panas

Diketahui :

- Dimensi *heatsink* sisi panas :

W = 89 mm

S = 5,2 mm

t = 0,2 mm

S-t = 5 mm

L_f = 27,8 mm

L_b = 30 mm

N = 64

- Kecepatan udara yang masuk *heatsink* sisi panas = 1,12 m/s
- Temperatur saat kondisi maksimal
 $T_{\infty} = 27^{\circ}\text{C} = 27^{\circ}\text{C} + 273 = 300\text{ K}$
 $T_s = 39^{\circ}\text{C} = 39^{\circ}\text{C} + 273 = 312\text{ K}$

Asumsi :

1. Kondisi *steady state*
2. Nilai sifat dari fluida udara dalam sistem konstan
3. Udara / gas dalam kondisi ideal
4. Perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan
5. Aliran fluida pendingin dianggap memenuhi seluruh fin (*uniform*)

Nilai Sifat :

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, selain itu juga sebagai fluida pendingin *heatsink* pada sisi panas peltier dan data sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer

Suhu udara rata – rata (T_f)

$$\begin{aligned} T_f &\approx \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \\ &= \frac{312\text{K} + 300\text{K}}{2} \\ &= 306\text{K} \end{aligned}$$

Maka didapat :

- Massa jenis udara

$$\begin{aligned} \rho &= 1.1614 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + \frac{(306-300)\text{K}}{(350-300)\text{K}} (0.9950 - 1.1614) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 1.141 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

- Viskositas

$$\begin{aligned}\mu &= 184.6 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2} + \frac{(306-300)K}{(350-300)K} \\ &\quad (208.2 \times 10^{-7} - 184.6 \times 10^{-7}) \frac{Ns}{m^2} \\ &= 187.43 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}\end{aligned}$$

- Thermal Conductivity

$$\begin{aligned}k &= 26.3 \times 10^{-3} \frac{W}{mK} + \frac{(306-300)K}{(350-300)K} (30.0 \times 10^{-3} - 26.3 \times 10^{-3}) \frac{W}{mK} \\ &= 26.7 \times 10^{-3} \frac{W}{mK}\end{aligned}$$

- Bilangan Prandtl

$$\begin{aligned}Pr &= 0.707 + \frac{(306-300)K}{(350-300)K} (0.700 - 0.707) \\ &= 0.706\end{aligned}$$

Heatsink yang dipakai dalam alat pendingin ruangan ini adalah berbahan aluminium sehingga dari nilai $T_f = 306^0K$ di dapat nilai koefisien konduksi heatsink ($K_{aluminium}$) pada tabel A.1 (buku fundamental of heat and mass transfer, seventh edition, incopera) dengan interpolasi sebagai berikut:

K heatsink (aluminium) pada temperatur 306^0K

$$\begin{aligned}K_{heatsink} &= 237 \frac{W}{mK} + \frac{(306-200)K}{(400-200)K} (240 - 237) \frac{W}{mK} \\ &= 238.59 \frac{W}{mK}\end{aligned}$$

4.3.1 Perhitungan Reynold Number dan Nusselt Number

- Reynold Number

$$\begin{aligned} \text{Re}_L &= \frac{\rho U_\infty L}{\mu} \\ &= \frac{1.141 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1.12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.0278}{187.43 \times 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} \\ &= 1895.44 \end{aligned}$$

Dari nilai Re_L sebesar 1895.44 maka bisa ditentukan bahwa aliran tersebut adalah aliran laminar karena diasumsikan sebagai lorong maka perhitungan menggunakan aliran internal dimana ΔT pada seluruh permukaan perpindahan panas sama, maka q'' diseluruh permukaan konstan sehingga Nu_L (Nusselt Number) di dapat dari:

$$\text{Nu}_D = \frac{hD}{k} = 4.36$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$\begin{aligned} h &= \frac{k \text{Nu}_L}{L} \\ &= \frac{0.0267 \frac{\text{W}}{\text{m}} \text{K} \times 4.36}{0.0278 \text{m}} \\ &= 4.287 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan *Heat Rate* pada *Heatsink* Sisi Panas

Heat rate pada heatsink dapat dihitung dari:

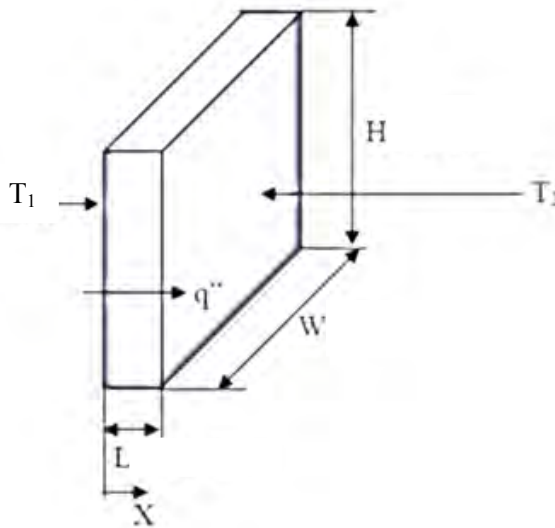
$$\begin{aligned} q_t &= h A \Delta T \\ &= 4.287 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \times \pi \times 0.045^2 \text{m}^2 \times (312-300) \\ &= 0.319 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dari data-data yang telah didapatkan, maka diperoleh nilai heat rate sebesar 0.319 Watt. Sedangkan:

1 watt = 859.84 kal/hour.

Maka selama percobaan dalam rentang waktu 2 jam didapatkan 274.288 kal/hour *heat rate* yang dapat dilepaskan *heatsink* pada sisi panas.

4.4 Perhitungan Heat Rate pada Plat Datar



Gambar 4.3 Sketsa Plat Datar

Diketahui:

- Dimensi Plat Datar :
 $W = 190 \text{ mm}$
 $H = 110 \text{ mm}$
 $L = 0.5 \text{ mm}$

Asumsi :

1. Kondisi *steady state*
2. Udara / gas dalam kondisi ideal
3. Semua sifat konstan
4. Radiasi diabaikan

4.4.1 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Yang Tertempel Termoelektrik

Titik pengamatan satu diketahui: $T_s = 8^{\circ}\text{C} = 281$

$$A = 0.19\text{m} \times 0.11\text{m}$$

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, data sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer.

$$\begin{aligned} \bullet \quad v &= 11.44 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (15.89 \times 10^{-6} - 11.44 \times 10^{-6}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ &= 14.14 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \mu &= 159.6 \times 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (184.6 \times 10^{-7} - 159.6 \times 10^{-7}) \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \\ &= 175.1 \times 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad k &= 22.3 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (26.3 \times 10^{-3} - 22.3 \times 10^{-3}) \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ &= 24.78 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{mK}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \text{Pr} &= 0.707 + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (0.700 - 0.707) \\ &= 0.711 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad \alpha &= 15.9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} + \frac{(281-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (22.5 \times 10^{-6} - 15.9 \times 10^{-6}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ &= 19.9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \end{aligned}$$

- $\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{281} = 0.00355 \text{ K}^{-1}$

- $g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Dari data di atas dapat menghitung:

$$\begin{aligned} \text{Ra}_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.00355 \text{K}^{-1} \times (300 - 281) \text{K} \times (0.11 \text{m})^3}{14.04 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 19.7 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} \\ &= 3.129 \times 10^6 \end{aligned}$$

Dari nilai Ra_L sebesar 3.129×10^6 maka bisa ditentukan bahwa aliran tersebut adalah aliran laminar karena ($10^4 \leq \text{Ra}_L \leq 10^9$) maka dapat dihitung Nu_L (Nusselt Number) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Nu}_L &= 0.68 + \frac{0.670 \text{Ra}_L^{1/6}}{[1 + 0.492/\text{Pr}^{9/16}]^{4/9}} \\ &= 0.68 + \frac{0.670 (3.129 \times 10^6)^{1/6}}{[1 + 0.492/0.711^{9/16}]^{4/9}} \\ &= 22.311 \end{aligned}$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$\begin{aligned} h &= \frac{k \text{Nu}_L}{L} \\ &= \frac{24.78 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}} \text{K} \times 22.311}{0.11 \text{m}} \\ &= 5.02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \end{aligned}$$

Maka heat rate didapat dari:

$$\begin{aligned}q_{\text{konveksi}} &= h A \Delta T \\&= 5.02 \frac{W}{m^2 K} (0.19m \times 0.11m) \times (281-300) \\&= -1.99 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Tanda minus pada hasil heat rate tersebut menunjukkan bahwa menyerap kalor. Kalor yang diserap oleh plat datar berbahan stainless steel sebesar 1.99 Watt.

4.4.2 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Sebelah Kanan Dan Kiri

Titik pengamatan 4 dan 7 diketahui: $T_s = 20^{\circ}\text{C} = 293 \text{ K}$

$$A = 0.14m \times 0.11m$$

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, data sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer.

$$\begin{aligned}\bullet \quad \nu &= 11.44 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(293-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (15.89 \times 10^{-6} - 11.44 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s} \\&= 15.26 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bullet \quad \mu &= 159.6 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2} + \frac{(293-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (184.6 \times 10^{-7} - 159.6 \times 10^{-7}) \frac{Ns}{m^2} \\&= 181.1 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bullet \quad k &= 22.3 \times 10^{-3} \frac{W}{mK} + \frac{(293-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (26.3 \times 10^{-3} - 22.3 \times 10^{-3}) \frac{W}{mK} \\&= 25.74 \times 10^{-3} \frac{W}{mK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bullet \quad Pr &= 0.707 + \frac{(293-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (0.700 - 0.707) \\&= 0.708\end{aligned}$$

- $\alpha = 15.9 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (22.5 \times 10^{-6} - 15.9 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}$
 $= 21.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

- $\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{293} = 0.0034 \text{ K}^{-1}$

- $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

Dari data di atas dapat menghitung:

$$\begin{aligned} Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\ &= \frac{9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.0034 \text{K}^{-1} \times (300-293)K \times (0.11m)^3}{15.26 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 21.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}} \\ &= 9.47 \times 10^5 \end{aligned}$$

Dari nilai Ra_L sebesar 9.47×10^5 maka bisa ditentukan bahwa aliran tersebut adalah aliran laminar karena ($10 \leq R_{al} \leq 10^9$) maka dapat dihitung Nu_L (Nusselt Number) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Nu_L &= 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/6}}{[1 + 0.492/Pr^{9/16}]^{4/9}} \\ &= 0.68 + \frac{0.670 (9.47 \times 10^5)^{1/6}}{[1 + 0.492/0.708^{9/16}]^{4/9}} \\ &= 16.716 \end{aligned}$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$h = \frac{k Nu_L}{L}$$

$$= \frac{25.74 \times 10^{-3} \frac{W}{m} K \times 16.716}{0.11m}$$

$$= 3.19 \frac{W}{m^2 K}$$

Maka heat rate didapat dari:

$$Q_{\text{konveksi}} = h A \Delta T$$

$$= 3.19 \frac{W}{m^2 K} (0.14m \times 0.11m) \times (293-300)$$

$$= -0.42 \text{ Watt}$$

Tanda minus pada hasil heat rate tersebut menunjukkan bahwa menyerap kalor. Kalor yang diserap oleh plat datar berbahan stainless steel sebesar 0.42 Watt. Karena titik pengamatan 4 dan 7 memiliki temperature dan juga luasan bidang yg sama maka Kalor yang diserap oleh plat datar berbahan stainless steel sebesar 0.42 Watt x 2 jadi 0.84 Watt.

4.4.3 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Terjauh Dari Termoelektrik

Titik pengamatan 5 diketahui: $T_s = 22^{\circ}C = 295 K$

$$A = 0.19m \times 0.11m$$

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, datta sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer.

$$\bullet \quad v = 11.44 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(295-250)K}{(300-250)K} (15.89 \times 10^{-6} - 11.44 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}$$

$$= 15.48 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\bullet \quad \mu = 159.6 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2} + \frac{(295-250)K}{(300-250)K} (184.6 \times 10^{-7} - 159.6 \times 10^{-7}) \frac{Ns}{m^2}$$

$$= 182.1 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}$$

- $k = 22.3 \times 10^{-3} \frac{W}{mK} + \frac{(295-250)K}{(300-250)K} (26.3 \times 10^{-3} - 22.3 \times 10^{-3}) \frac{W}{mK}$
 $= 25.9 \times 10^{-3} \frac{W}{mK}$

- $Pr = 0.707 + \frac{(295-250)K}{(300-250)K} (0.700 - 0.707)$
 $= 0.708$

- $\alpha = 15.9 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (22.5 \times 10^{-6} - 15.9 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}$
 $= 21.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

- $\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{295} = 0.0033 \text{ K}^{-1}$

- $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

Dari data di atas dapat menghitung:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\frac{\nu\alpha}{9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.0033 K^{-1} \times (300-295)K \times (0.11m)^3}}$$

$$= \frac{15.48 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 21.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{6.38 \times 10^5}$$

Dari nilai Ra_L sebesar 6.38×10^5 maka bisa ditentukan bahwa aliran tersebut adalah aliran laminar karena ($10^4 \leq R_{al} \leq 10^9$) maka dapat dihitung Nu_L (Nusselt Number) sebagai berikut:

$$Nu_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/6}}{[1 + 0.492/Pr^{9/16}]^{4/9}}$$

$$= 0.68 + \frac{0.670 (6.38 \times 10^5)^{1/6}}{[1 + 0.492/0.708^{9/16}]^{4/9}}$$

$$= 15.209$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$h = \frac{k \text{Nu}L}{L}$$

$$= \frac{25.9 \times 10^{-3} \frac{W}{m} \text{K} \times 15.209}{0.11m}$$

$$= 3.58 \frac{W}{m^2K}$$

Maka heat rate didapat dari:

$$q_{\text{konveksi}} = h A \Delta T$$

$$= 3.58 \frac{W}{m^2K} (0.19m \times 0.11m) \times (295-300)$$

$$= -0.37 \text{ Watt}$$

Tanda minus pada hasil heat rate tersebut menunjukkan bahwa menyerap kalor. Kalor yang diserap oleh plat datar berbahan stainless steel sebesar 0.37 Watt.

4.4.4 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Bagian Bawah

Titik pengamatan 6 diketahui: $T_s = 20^{\circ}\text{C} = 293 \text{ K}$

$$A = 0.19m \times 0.11m$$

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, data sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer.

- $$v = 11.44 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(293-250)\text{K}}{(300-250)\text{K}} (15.89 \times 10^{-6} - 11.44 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}$$

$$= 15.26 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

- $\mu = 159.6 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (184.6 \times 10^{-7} - 159.6 \times 10^{-7}) \frac{Ns}{m^2}$
 $= 181.1 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}$

- $k = 22.3 \times 10^{-3} \frac{W}{mK} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (26.3 \times 10^{-3} - 22.3 \times 10^{-3}) \frac{W}{mK}$
 $= 25.74 \times 10^{-3} \frac{W}{mK}$

- $Pr = 0.707 + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (0.700 - 0.707)$
 $= 0.708$

- $\alpha = 15.9 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (22.5 \times 10^{-6} - 15.9 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}$
 $= 21.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

- $\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{293} = 0.0034 \text{ K}^{-1}$

- $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

- $L = \frac{As}{P} = \frac{0.19 \times 0.14}{2(0.19+0.14)} = 0.04m$

Dari data di atas dapat menghitung:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\frac{\nu\alpha}{s^2} \times 0.0034K^{-1} \times (300-293)K \times (0.04m)^3}$$

$$= \frac{15.26 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 21.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{15.26 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 21.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$= 4.55 \times 10^4$$

Dari nilai Ra_L sebesar 4.55×10^4 karena ($10^4 \leq Ra_L \leq 10^9$, $Pr \geq 0.7$) dapat dihitung bilangan Nusselt dengan persamaan bagian atas plat dingin:

$$\begin{aligned}
 Nu_L &= 0.52 Ra_L^{1/5} \\
 &= 0.52(4.55 \times 10^4)^{1/5} \\
 &= 4.44
 \end{aligned}$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{k Nu_L}{L} \\
 &= \frac{25.74 \times 10^{-3} \frac{W}{m} K \times 4.44}{0.04m} \\
 &= 2.85 \frac{W}{m^2 K}
 \end{aligned}$$

Maka heat rate didapat dari:

$$\begin{aligned}
 q_{konveksi} &= h A \Delta T \\
 &= 2.85 \frac{W}{m^2 K} (0.19m \times 0.14m) \times (293-300) \\
 &= -0.53 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Tanda minus pada hasil heat rate tersebut menunjukkan bahwa menyerap kalor. Kalor yang diserap oleh plat datar berbahan stainless steel sebesar 0.53 Watt.

4.4.5 Menghitung Heat Rate Pada Dinding Bagian Atas

Titik pengamatan 6 diketahui: $T_s = 20^{\circ}C = 293 \text{ K}$

$$A = 0.19m \times 0.11m$$

Nilai sifat yang akan dicari adalah nilai sifat dari udara karena beberapa alasan diantaranya sistem ini berhubungan langsung dengan udara, data sifat dari udara ini didapat dari Tabel A.4 Fundamentals of Heat and Mass Transfer.

- $v = 11.44 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (15.89 \times 10^{-6} - 11.44 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}$

$$= 15.26 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\bullet \mu = 159.6 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (184.6 \times 10^{-7} - 159.6 \times 10^{-7}) \frac{Ns}{m^2}$$

$$= 181.1 \times 10^{-7} \frac{Ns}{m^2}$$

$$\bullet k = 22.3 \times 10^{-3} \frac{W}{mK} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (26.3 \times 10^{-3} - 22.3 \times 10^{-3}) \frac{W}{mK}$$

$$= 25.74 \times 10^{-3} \frac{W}{mK}$$

$$\bullet Pr = 0.707 + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (0.700 - 0.707)$$

$$= 0.708$$

$$\bullet \alpha = 15.9 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} + \frac{(293-250)K}{(300-250)K} (22.5 \times 10^{-6} - 15.9 \times 10^{-6}) \frac{m^2}{s}$$

$$= 21.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

$$\bullet \beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{293} = 0.0034 \text{ K}^{-1}$$

$$\bullet g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\bullet L = \frac{As}{P} = \frac{0.19 \times 0.14}{2(0.19+0.14)} = 0.04m$$

Dari data di atas dapat menghitung:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\frac{\nu\alpha}{s^2}}$$

$$= \frac{9.81 \frac{m}{s^2} \times 0.0034 \text{ K}^{-1} \times (300-293)K \times (0.04m)^3}{\frac{15.26 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} \times 21.5 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}{s^2}}$$

$$= 4.55 \times 10^4$$

Dari nilai Ra_L sebesar 4.55×10^4 karena ($10^4 \leq Ra_L \leq 10^7$, $Pr \geq 0.7$) dapat dihitung bilangan Nusselt dengan persamaan bagian atas plat dingin:

$$\begin{aligned} Nu_L &= 0.54 Ra_L^{1/4} \\ &= 0.54(4.55 \times 10^4)^{1/4} \\ &= 7.88 \end{aligned}$$

Dari Nusselt number tersebut maka akan bisa di temukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h):

$$\begin{aligned} h &= \frac{k Nu_L}{L} \\ &= \frac{25.74 \times 10^{-3} \frac{W}{m} K \times 7.88}{0.04m} \\ &= 5.07 \frac{W}{m^2 K} \end{aligned}$$

Maka heat rate didapat dari:

$$\begin{aligned} q_{konveksi} &= h A \Delta T \\ &= 5.07 \frac{W}{m^2 K} (0.19m \times 0.14m) \times (293-300) \\ &= -0.944 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tanda minus pada hasil heat rate tersebut menunjukkan bahwa menyerap kalor. Kalor yang diserap oleh plat datar berbahan stainless steel sebesar 0.944 Watt.

4.4.6 Total Heat Rate Didalam Box

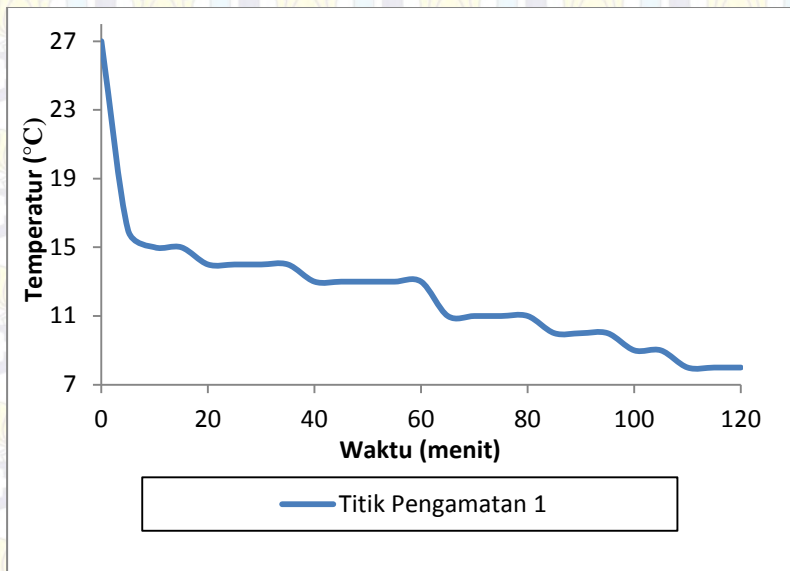
$$\begin{aligned} q_{konveksi} &= (-1.99\text{Watt}) + (-0.84\text{Watt}) + (-0.37\text{Watt}) + (-0.53\text{Watt}) \\ &\quad + (-0.94\text{Watt}) \\ &= -4.674 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tanda minus pada hasil diatas menunjukkan menyerap kalor, maka diperoleh nilai heat rate total sebesar 4.676 Watt. Sedangkan:

$$1 \text{ watt} = 859.84 \text{ kal/hour.}$$

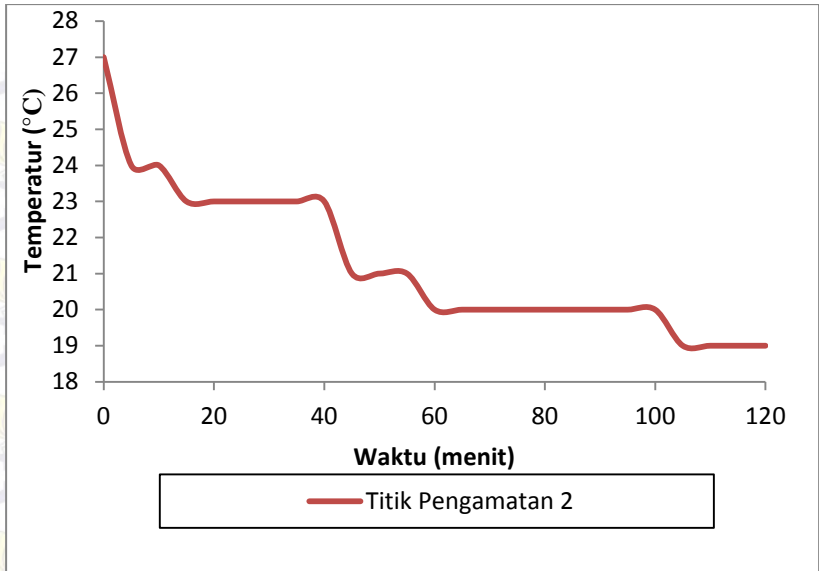
Maka selama percobaan dalam rentang waktu 2 jam didapatkan 4020.611 kal/hour *heat rate* yang dapat diserap plat datar berbahan stainless pada sisi dingin.

4.5 Grafik Distribusi Temperatur



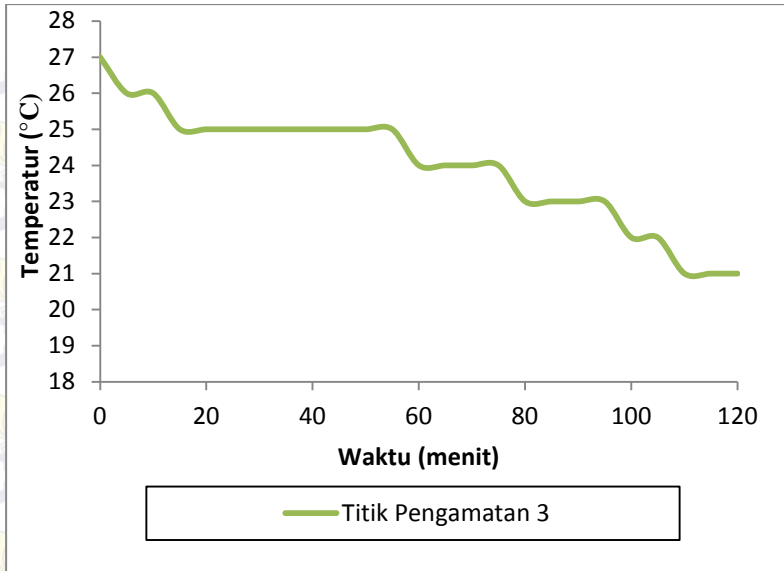
Gambar 4.4 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 1

Titik pengamatan 1 terletak tepat pada dinding yang langsung terkena peltier sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 16 °C dan terus menurun hingga 8 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



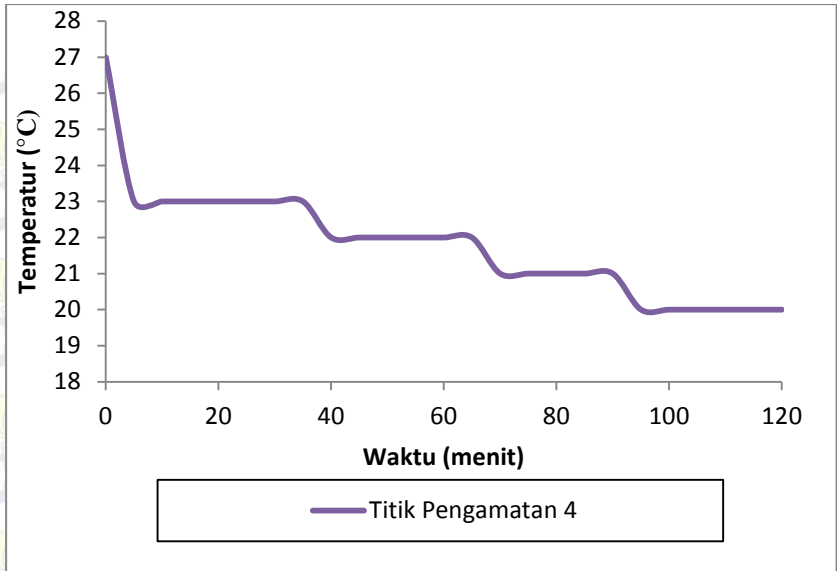
Gambar 4.5 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 2

Titik pengamatan 2 terletak pada jarak 3.5 cm dari dinding yang menempel peltier dan 4.75 cm dari dinding sebelah kanan sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 24 °C dan terus menurun hingga 19 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



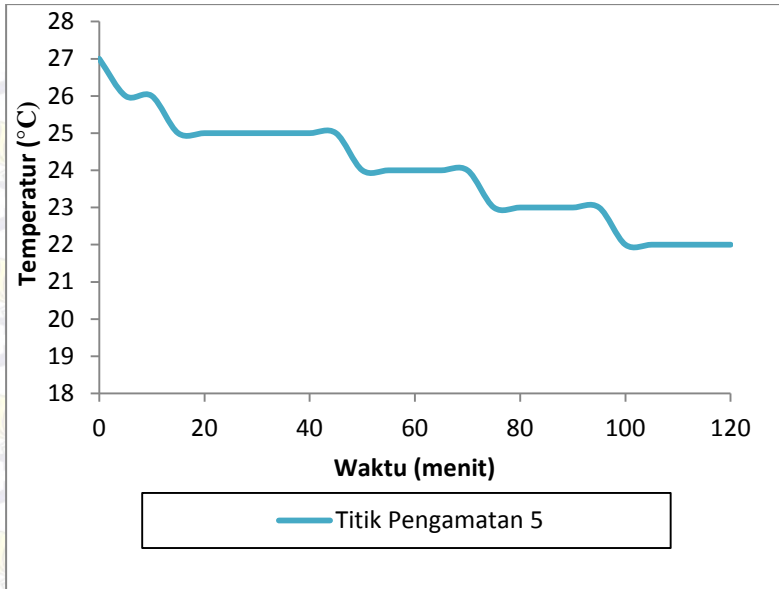
Gambar 4.6 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 3

Titik pengamatan 3 terletak pada jarak 10.5 cm dari dinding yang menempel peltier dan 4.75 cm dari dinding sebelah kanan sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 26 °C dan terus menurun hingga 21 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



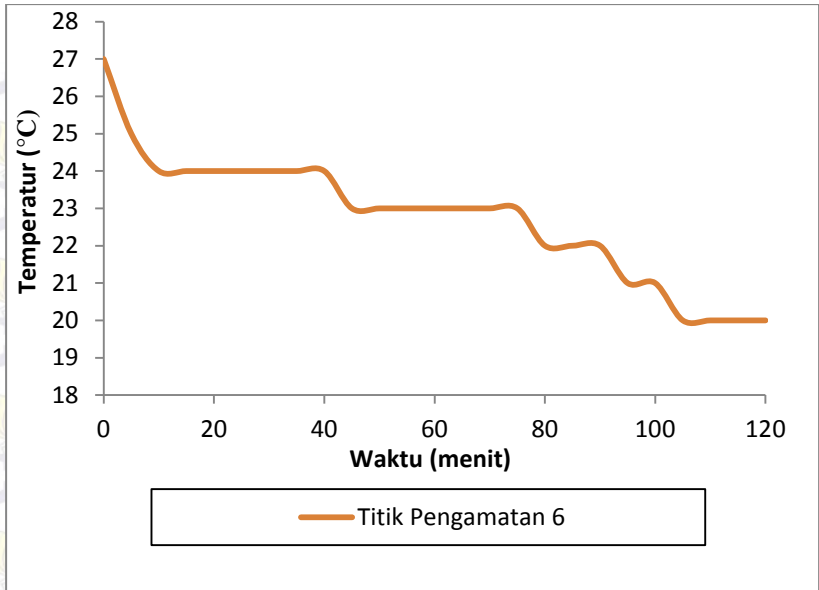
Gambar 4.7 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 4

Titik pengamatan 4 terletak tepat pada dinding sebelah kanan dinding yang langsung terkena peltier sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 23 °C dan terus menurun hingga 20 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



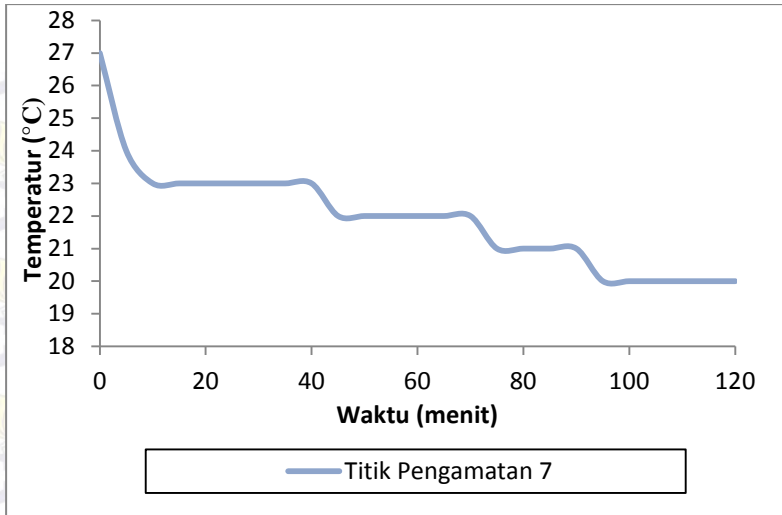
Gambar 4.8 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 5

Titik pengamatan 5 terletak pada dinding terjauh dengan jarak 11cm dari dinding yang terkena peltier sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 26 °C dan terus menurun hingga 22 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



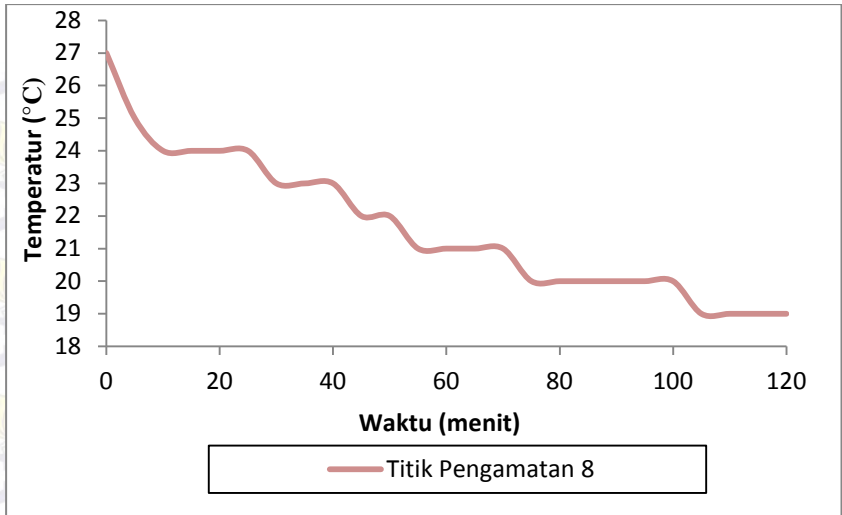
Gambar 4.9 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 6

Titik pengamatan 6 terletak tepat pada dinding bagian bawah dari dinding yang langsung terkena peltier sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 25 °C dan terus menurun hingga 20 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



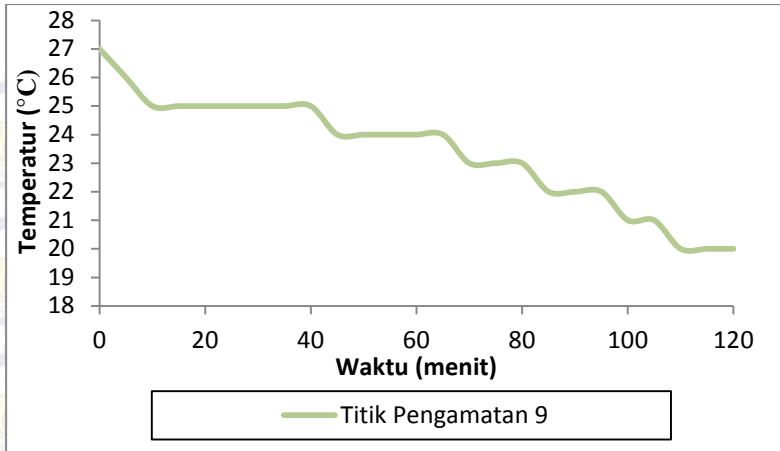
Gambar 4.10 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 7

Titik pengamatan 7 terletak tepat pada dinding sebelah kiri dinding yang langsung terkena peltier sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 24°C dan terus menurun hingga 20°C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



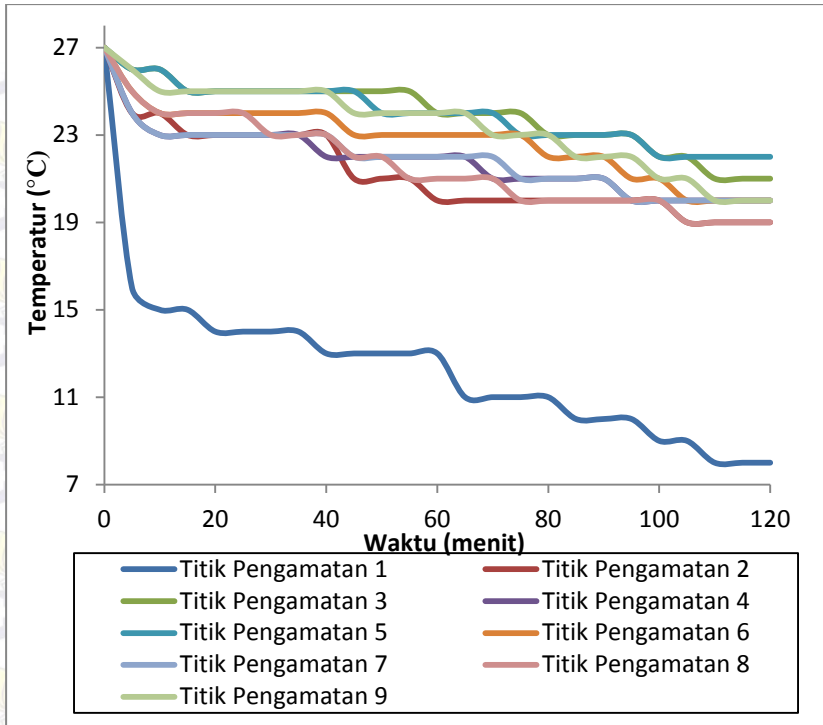
Gambar 4.11 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 8

Titik pengamatan 8 terletak pada jarak 3.5 cm dari dinding yang menempel peltier dan 4.75 cm dari dinding sebelah kiri sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 25 °C dan terus menurun hingga 19 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



Gambar 4.12 Waktu vs Temperatur pada Titik Pengamatan 9

Titik pengamatan 3 terletak pada jarak 10.5 cm dari dinding yang menempel peltier dan 4.75 cm dari dinding sebelah kiri sehingga pada menit ke-5 temperatur mencapai 26 °C dan terus menurun hingga 20 °C pada menit ke-120. Jadi semakin mendekati peltier temperature semakin menurun.



Gambar 4.13 Waktu vs Temperatur pada keseluruhan titik

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa hanya dinding yang terkena peltier secara langsung yang mampu mencapai temperatur terendah dari temperatur awal sedangkan untuk delapan titik pengamatan yang lain tidak bisa mencapai temperatur yang rendah. Ini disebabkan tidak adanya sirkulasi secara merata di dalam ruang portable cold storage.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penulisan tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada sistem pendingin Thermoelektrik kinerja pada sisi dingin dipengaruhi oleh sisi panas thermoelektrik. Semakin banyak panas yang dapat dilepaskan pada sisi panas thermoelektrik, maka semakin efisien kinerja thermoelektrik tersebut dalam mendinginkan suatu ruangan.
2. Pada penelitian ini *heatsink* pada sisi panas dapat melepas kalor sebesar 0.319 watt.
3. Pada penelitian ini stainless steel yang digunakan sebagai media plat datar dapat menyerap kalor sebesar 4.676 Watt.
4. Pada penelitian ini temperatur pada titik pengamatan 1 dapat mencapai 8 °C, titik pengamatan 2 dapat mencapai 19 °C, titik pengamatan 3 dapat mencapai 21 °C, titik pengamatan 4 dapat mencapai 20 °C, titik pengamatan 5 dapat mencapai 22 °C, titik pengamatan 6 dapat mencapai 20 °C, titik pengamatan 7 dapat mencapai 20 °C, titik pengamatan 8 dapat mencapai 19 °C, titik pengamatan 9 dapat mencapai 20 °C.
5. Semakin dekat dengan dinding yang tertempel langsung peltier temperatur menurun dengan cepat, begitu pula dengan semakin jauh dari dinding yang tertempel langsung peltier maka temperatur yang turun hanya sedikit.

5.2 Saran

1. Memasang fan di dalam ruang portable cold storage agar sirkulasi udara merata sehingga temperatur didalam ruangan merata.
2. Menambah modul thermoelektrik pada mesin pendingin untuk mendapatkan temperatur ruang pendingin yang lebih rendah.
3. Menambah rangkaian elektronika untuk mengatur temperatur pendinginan.

DAFTAR PUSTAKA

Incropera, Frank P. dkk. 2011. “*Fundamentals of Heat And Mass Transfer, Seventh Edition*”. United State of America : John Wiley & Sons, Inc.

Sari ,Devi Ratna. 2011. “*Kaji Eksperimental Perpindahan Panas Konveksi Pada Heatsink Sisi Panas dan Sisi Dingin Thermoelektrik TEC 12706*”. Surabaya: Program Studi D-III Teknik Mesin FTI-ITS

Wilson, J.S. 2005. “*Sensor Technology Handbook*”. Elsevier Inc,America.

Lampiran

Appendix A ■ Thermophysical Properties of Matter

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids^a

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K					Properties at Various Temperatures (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)		100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminum Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	—	—	—	—	—	—
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	482	798	949	1033	1146	—	—	—	—	—
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)	—	2790	883	168	68.2	473	787	925	1042	1185	—	—	—	—	—	—
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7	—	—	—	—
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	112	120	127	7.04	2604	2823	3018	3227	3519	—	—
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85	—	—	—	—	—
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	128	600	1463	1892	2160	2338	—	—	—	—	—
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	—	—
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5	—	—	—
Copper Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339	—	—	—	—
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	252	356	397	417	433	451	480	—	—	—	—
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17	—	42	52	59	59	—	—	—	—	—	—
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149	149	—	—	—	—	—	—
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19	360	395	425	—	—	—	—	—	—
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4	—	—	—	—
						190	290	337	348	357	375	395	—	—	—	—

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

BIODATA PENULIS



Terlahir dari seorang ibu bernama Sawiyati dan bapak bernama Afandi pada tanggal 15 September 1992 dengan nama Alichia Silfiyati. Anak ke-2 dari 4 bersaudara ini lulus dari TK Alizah, SDN Bubutan VI/74, SMPN 4 Surabaya dan SMAN 19 Surabaya.

Penulis mengikuti ujian masuk Diploma 3 ITS Surabaya pada tahun 2010, dan diterima di jurusan Diploma 3 Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP 2110030034.

Penulis pernah mengikuti beberapa seminar, diantaranya Rossy Goes to Campus Indonesia Better pada tahun 2011, seminar Green Technology pada tahun 2012, 3rd Seminar Nasional Otomotif Dan Short Workshop pada tahun 2011. Mengikuti study excursion Jawa-Bali pada tahun 2012, study excursion Jakarta-Bandung-Jogja pada tahun 2013. Menjadi Staff department Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMDM pada tahun 2011-2012 dan menjadi bendahara department Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMDM pada tahun 2012-2013. Penulis melaksanakan kerja praktek di Pabrik Gula Toelangan milik PTPN X pada tahun 2012 selama satu bulan.