



TUGAS AKHIR - TM 095502

**KAJI EKSPERIMENTAL *PORTABLE COOL BOX* MENGGUNAKAN
TEC1-17205 *CASCADE***

**FILIANTI SUCI GIANITA
NRP 2114 030 036**

**Dosen Pembimbing
Ir. Denny M. E. Soedjono, MT
NIP 19570331 1198803 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



TUGAS AKHIR - TM 095502

**KAJI EKSPERIMENTAL *PORTABLE COOL*
BOX MENGGUNAKAN *TEC1-17205 CASCADE***

**FILIANTI SUCI GIANITA
NRP 2114 030 036**

**Dosen Pembimbing
Ir. Denny M. E. Soedjono, MT
NIP 19570331 1198803 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT - TM 095502

**EXPERIMENTAL STUDY OF PORTABLE COOL BOX USING
TEC1-17205 CASCADE**

**FILIANTI SUCI GIANITA
NRP 2114 030 036**

**Counselor Lecturer
Ir. Denny M. E. Soedjono, MT
NIP 19570331 1198803 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT - TM 095502

**EXPERIMENTAL STUDY OF PORTABLE COOL
BOX USING TEC1-17205 CASCADE**

**FILIANTI SUCI GIANITA
NRP 2114 030 036**

**Counselor Lecturer
Ir. Denny M. E. Soedjono, MT
NIP 19570331 1198803 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJI EKSPERIMENTAL *PORTABLE COOL BOX*
MENGUNAKAN TEC1-17205 *CASCADE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :

FILIANTI SUCI GIANITA

NRP. 2114 030 036

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing



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

**SURABAYA
JULI 2017**

KAJI EKSPERIMENTAL *PORTABLE COOL BOX* MENGUNAKAN TEC1-17205 *CASCADE*

Nama : Filianti Suci Gianita
NRP : 2114030036
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Ir. Denny M. E. Soedjono

Abstrak

Mesin pendingin yang paling umum digunakan adalah mesin pendingin kompresi uap yang memanfaatkan refrigeran sebagai media pendinginnya. Sayangnya, refrigeran mengandung zat yang dapat mengancam keseimbangan alam dengan merusak lapisan ozon dan menyebabkan pemanasan global. Mesin pendingin yang berpotensi menggantikan mesin pendingin konvensional adalah pendingin termoelektrik. Dengan konstruksi yang lebih sederhana, termoelektrik banyak dimanfaatkan untuk alat pendingin skala kecil.

Kotak pendingin yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan bahan plastik dan polyurethane. Rangkaian sistem pendinginannya dibuat dengan dua TEC1-12705, heatsink dan fan.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian dan hasil perhitungan didapatkan temperatur terendah di dalam *cool box* sebesar 19 °C dengan rata-rata nilai laju perpindahan panas sebesar 1,215 Watt.

Kata kunci : Mesin pendingin, pendingin termoelektrik, *Heatsink*, TEC1-12705, *cool box*

***EXPERIMENTAL STUDY OF PORTABLE COOL BOX
USING TEC1-17205 CASCADE***

Name : Filianti Suci Gianita
NRP : 2114030036
Department : Teknik Mesin Industri
Consultant Lecturer : Ir. Denny M. E. Soedjono

Abstract

Vapor compression cooling machine is the most commonly used cooling machine with refrigerant as its cooling medium. Unfortunately, refrigerant contains many dangerous compounds that can cause global warming. That conventional cooling machine now can be replacaed by thermoelectric cooler. With a more simple construction, this cooler is commonly used for small scale purposes.

In this final project, the cool box was made by plastic boxes and polyurethane. Its cooling system was made by coupling two TEC1-12705, a heatsink and fan.

According to the experiment data and calculation result, it is known that the lowest temperature that could be produced by this cooling system is 19 °C and also the average of its heat transfer rate is 1,215 Watt.

***Keywords : Cooling machine, thermoelectric cooler,
Heatsink, TEC1-12705, cool box***

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkah, rahmat dan hidayah yang diberikan sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “KAJI EKSPERIMENTAL *PORTABLE COOL BOX* MENGGUNAKAN *TEC1-12705 CASCADE*”, sebagai salah satu syarat kelulusan pada Departemen Teknik Mesin Industri, Program studi Diploma, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis mendapat banyak dukungan, bantuan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Denny Maartyoza Eko Soedjono, MT. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan waktu, pikiran dan arahan kepada penulis dengan sangat baik.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
3. Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Wali
4. Bapak Ir. Suhariyanto, MT. selaku Koordiantor tugas akhir
5. Semua Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Teknik Mesin Industri, Program Studi Diploma, Fakultas Vokasi ITS yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya dengan baik selama masa perkuliahan.
6. Kedua Orang Tua yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil dan kasih sayang yang luar biasa kepada penulis.
7. Rany Nugrahani partner tugas akhir terbaik yang selalu sabar tidak bosan membantu, memberi semangat dan

bertukar pikiran selama proses penyelesaian tugas akhir.

8. Keluarga besar D3 Teknik Mesin angkatan 2014 yang tidak henti memberikan semangat serta bantuan yang sangat berarti untuk penyelesaian tugas akhir ini.
9. Sapto Wisasno selaku teknisi yang selalu memberikan pertolongan, pikiran dan saran dengan sepenuh hati untuk penyelesaian tugas akhir ini.
10. Rekan-rekan Nogogeni, rekan-rekan Robotika ITS dan rekan-rekan Laboratorium Metalurgi yang sudah dengan baik hati membantu dan memberikan masukan untuk pengerjaan tugas akhir ini.
11. Semua rekan-rekan dan pihak lain yang telah membantu penyusunan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Sekali lagi penulis ucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak yang bersangkutan atas segala bentuk bantuan dan dukungan yang telah diberikan. Semoga Tuhan memberkati dan membalas semua kebaikan tersebut. Penulis menyadari masih terdapat banyak hal yang belum sempurna dari tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis terbuka untuk menerima setiap masukan dan saran maupun kritik yang diberikan. Semoga tugas akhir ini bisa memberikan manfaat kepada pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Perpindahan Panas.....	5
2.1.1 Konveksi	6
2.1.1.1 Konveksi Aliran Internal	7
2.2 Sistem Pendinginan Cascade	9
2.3 Thermoelectric Cooler	10
2.3.1 Konstruksi dan Prinsip Kerja	11
2.3.2 Keunggulan dan Kerugian	13
2.4 Thermocouple.....	14
2.4.1 Prinsip Kerja Termokopel	14
2.4.2 Jenis-Jenis Termokopel.....	15
2.5 Polyurethane.....	17
2.6 Temperature Data Logger	18
2.7 Joulemeter	20
2.8 Anemometer	21

2.9 Heatsink-Fan	22
------------------------	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian	25
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	26
3.2.1 Tinjauan Pustaka	26
3.2.2 Perancangan Alat	27
3.2.3 Pengambilan Data	30
3.2.4 Perhitungan	31
3.2.5 Penyusunan Laporan	31

BAB IV PEMBAHASAN DAN PERHITUNGAN

4.1 Desain Cool Box	33
4.2 Data yang Diperlukan.....	34
4.2.1 Data Temperatur	34
4.2.2 Data Properties Temperatur	36
4.3 Pengolahan Data	36
4.4 Perbandingan dengan Sistem Pendingin TEC1-12705 Tunggal	40

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Perpindahan Panas	5
Gambar 2.2	Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi	6
Gambar 2.3	Konveksi plat datar	8
Gambar 2.4	Siklus pendingin kompresi uap cascade.....	10
Gambar 2.5	TEC1-12705	11
Gambar 2.6	Konstruksi TEC.....	12
Gambar 2.7	Prinsip kerja termokopel	15
Gambar 2.8	Termokopel tipe K	16
Gambar 2.9	Polyurethane	17
Gambar 2.10	Data logger arduino	19
Gambar 2.11	Rangkaian data logger dan sensor suhu.....	20
Gambar 2.12	Joulemeter	21
Gambar 2.13	Anemometer	22
Gambar 2.14	Heatsink-Fan	23
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	25
Gambar 3.2	Dimensi cool box.....	27
Gambar 3.3	Kotak pendingin yang sudah dirangkai	28
Gambar 3.4	Dimensi tutup cool box	29
Gambar 3.5	Tutup kotak pendingin	29
Gambar 3.6	Rangkaian pendingin termoelektrik	30
Gambar 4.1	Desain cool box	33
Gambar 4.2	Titik-titik pengukuran data temperatur	34
Gambar 4.3	Grafik data temperatur	36
Gambar 4.4	Grafik perbandingan temperatur <i>cascade</i> dan <i>single</i>	42
Gambar 4.3	Grafik perbandingan laju perpindahan panas <i>Cascade</i> dan <i>single</i>	43

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data rata-rata temperatur di tiap dinding	35
Tabel 4.2	Data properties udara	36
Tabel 4.3	Hasil perhitungan untuk tiap dinding (<i>Cascade</i>)	40
Tabel 4.4	Hasil perhitungan untuk tiap dinding (<i>single</i>)	41
Tabel 4.5	Perbandingan temperatur sistem <i>single</i> Dengan <i>cascade</i>	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendinginan merupakan salah satu cara paling umum digunakan untuk pengawetan, terutama pada pengawetan makanan. Penyimpanan bahan dalam ruangan bertemperatur rendah menjadikan bahan tersebut tidak mudah rusak karena dapat menurunkan aktivitas enzimatik dan reaksi kimiawi oleh mikroba.

Salah satu jenis mesin pendingin yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin pendingin kompresi uap. Mesin pendingin ini bekerja secara mekanik. Perpindahan panas dilakukan dengan memanfaatkan sifat refrigeran yang berubah dari fase cair ke fase uap kemudian kembali ke fase cair secara berulang. Perubahan fase tersebut dapat terjadi dengan adanya beberapa komponen utama pada mesin pendingin kompresi uap diantaranya, kompresor yang berfungsi untuk menaikkan tekanan refrigeran, kondensor yang mendinginkan atau mengembunkan refrigeran, katup ekspansi yang menurunkan tekanan refrigeran, serta evaporator yang memanaskan atau menguapkan refrigeran sehingga terjadi efek pendinginan pada lingkungan sekitarnya. Namun, penggunaan refrigeran, terutama yang mengandung Klor (Cl) seperti Freon atau CFC ternyata tidak ramah lingkungan. Zat-zat tersebut dapat berdampak pada rusaknya lapisan ozon dan terjadinya pemanasan global. Dimensi mesin pendingin kompresi uap harus mempunyai cukup ruang untuk menempatkan komponen-komponennya sehingga mesin pendingin dengan sistem kompresi uap cenderung kurang efektif untuk skala penyimpanan kecil atau penggunaan yang sederhana. Selain itu, di masa mendatang diperkirakan kebutuhan energi akan semakin meningkat, sehingga diperlukan suatu energi alternatif

yang dapat dimanfaatkan untuk menjalankan suatu sistem pendinginan.

Alternatif yang dapat digunakan sebagai pendingin untuk penggunaan skala kecil adalah *thermoelectric cooler*. Meskipun efek pendinginan yang dihasilkan belum sebesar sistem pendingin konvensional, pendingin termoelektrik ini tidak memiliki bangun yang kompleks seperti halnya mesin pendingin kompresi uap. Jika material termoelektrik dialiri arus listrik, panas yang ada di sekitarnya akan diserap dan dilepaskan pada bagian yang lain. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya mesin-mesin pendingin konvensional.

Pada penelitian tugas akhir ini dipilih pendingin termoelektrik dengan pertimbangan tidak diperlukannya ruang yang luas sehingga lebih mudah untuk dirangkai sebagai sistem pendinginan di ruangan kecil seperti kotak penyimpanan *portable*. Untuk membuat rangkaian kotak pendingin termoelektrik tidak membutuhkan komponen yang rumit. Pembuatan kotak pendingin *portable* ini juga dimaksudkan untuk menguji unjuk kerja termoelektrik sebagai sistem pendingin kotak penyimpan *portable*.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah-masalah yang akan dibahas pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana temperatur yang dihasilkan oleh rangkaian TEC1-12705 *cascade* di dalam ruang *cool box* ?
2. Bagaimana proses distribusi temperatur di dalam *cool box* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan mengacu pada latar belakang dan rumusan masalah yang tertulis di atas, maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk :

1. Mengetahui temperatur terendah yang dapat dicapai oleh TEC1-12705 sistem cascade di dalam ruangan *cool box*
2. Mengetahui distribusi temperatur di dalam ruangan *cool box*

1.4 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan isi laporan tugas akhir ini, penulis membuat batasan-batasan dalam hal apa saja yang akan dibahas dalam laporan ini.

1. Termoelektrik pendingin yang digunakan adalah TEC1-12705 dan dirangkai *cascade*
2. *Cool box* dianggap dalam keadaan terisolasi sempurna
3. Pengambilan data dilakukan ketika *cool box* dalam keadaan kosong
4. Pengambilan data temperatur dilakukan dengan *data logger*
5. Pengambilan data dilakukan setiap satu menit selama satu jam

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah mendapat tambahan pengetahuan mengenai rancang bangun *cool box* beserta rangkaian sistem pendingin yang digunakan, mampu melakukan pengujian pada alat yang dibuat dan mampu menganalisis distribusi temperatur beserta perpindahan panas yang terjadi di dalam ruang *cool box*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian tugas akhir ini menggunakan sistematika sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang dilakukannya penelitian beserta rumusan masalah, tujuan, batasan malah dan manfaat penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini berisi teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang didapat penulis dari berbagai macam sumber.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Perencanaan atau susunan kegiatan yang dilakukan untuk proses penelitian hingga pembuatan laporan terdapat dalam bagian ini. Termasuk juga di dalamnya cara-cara atau metode yang digunakan pada penelitian.

BAB IV. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat uraian penjelasan untuk masalah beserta perhitungannya. Hasil dari simulasi yang dilakukan juga menjadi bagian dari bab ini bersama dengan penjelasannya.

BAB V. PENUTUP

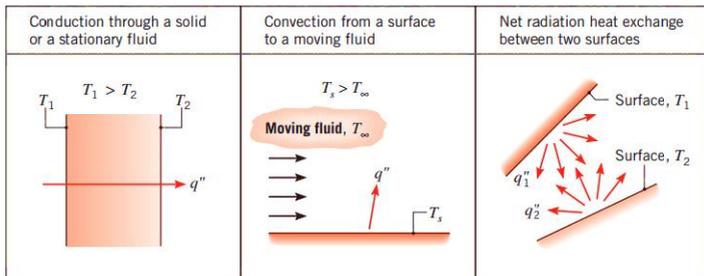
Berisi kesimpulan yang diperoleh dari keseluruhan penelitian mulai dari perhitungan hingga hasil simulasi.

LAMPIRAN

BAB II DASAR TEORI

2.1 Perpindahan Panas

Heat transfer atau perpindahan panas adalah perpindahan energi panas atau kalor yang disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur. Perpindahan panas dapat dibagi berdasarkan mekanisme atau cara panas berpindah dari dua media yang berbeda temperatur. Jika ada gradient atau beda temperatur pada media yang diam, baik pada benda padat maupun liquid maka perpindahan panas ini disebut dengan konduksi. Jika ada gradient temperatur antara benda padat dengan liquid yang mengalir disekitarnya, perpindahan panas yang terjadi disebut dengan konveksi.



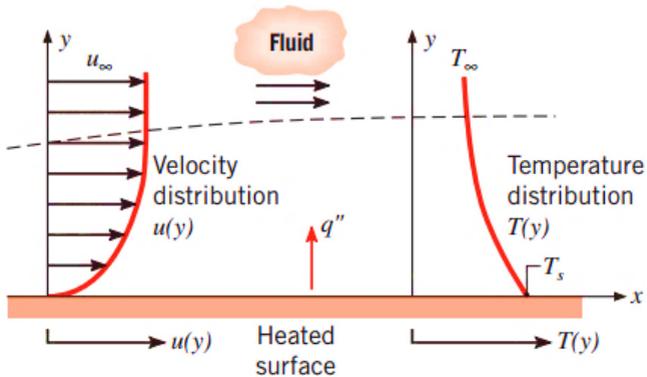
Gambar 2.1 Mekanisme perpindahan panas

*Sumber : Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition,
Frank P. Incropera, Hal. 2*

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 disebut radiasi.

2.1.1 Konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan mikroskopik dari fluida di antara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (difusi) biasanya lebih dominan di daerah dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida meningkat sedikit lebih besar dari nol.



Gambar 2.2 Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi

Sumber : *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition*, Frank P. Incropera, Hal. 6

Perpindahan panas konveksi juga dikategorikan berdasarkan penyebab terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti pompa, fan, blower, ataupun angin pada udara atmosfer maka perpindahan panas konveksi yang terjadi disebut konveksi paksa (forced convection). Jika aliran fluida dihasilkan oleh

adanya variasi massa jenis fluida karena adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam satu wadah maka perpindahan panasnya disebut konveksi alam atau konveksi bebas.

Untuk menghitung fluks panas konveksi dapat menggunakan sebuah persamaan yang dikenal dengan nama Newton's Law of Cooling di bawah ini :

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$q = hA(T_s - T_\infty) \text{ (Watt)}$$

Keterangan :

q'' : fluks panas konveksi (W/m²)

T_s : temperatur permukaan padat (K)

T_∞ : temperatur rata-rata fluida (K)

h : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²K)

Koefisien perpindahan panas konveksi tersebut tergantung pada kondisi lapisan batas yang tergantung juga pada geometri permukaan, penyebab terjadinya aliran fluida dan sifat-sifat termodinamika dari fluida. Untuk menyelesaikan beberapa persoalan perpindahan panas konveksi, koefisien h tersebut harus diketahui.

2.1.1.1 Konveksi Aliran Internal

Perpindahan panas konveksi pada aliran internal merupakan salah satu proses perpindahan panas yang cukup rumit karena dipengaruhi oleh banyak faktor. Koefisien perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh, orientasi arah aliran terhadap obyek, ukuran (D, diameter dan A, luas permukaan) dan bentuk obyek(plat datar, silinder, dll), konduktivitas panas lapisan fluida (k), masa jenis fluida (ρ), kekentalan (μ , viskositas absolut) fluida, dan juga kapasitas panas jenis fluida pada tekanan konstan (Cp). Faktor-faktor

tersebut dituangkan dalam bilangan Nusselt, bilangan Reynolds, dan bilangan Prandtl, yang merupakan bilangan tak berdimensi hasil riset para ahli khususnya dalam persamaan empiris untuk memprediksikan koefisien perpindahan panas konveksi.

Bilangan Reynolds

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu}$$

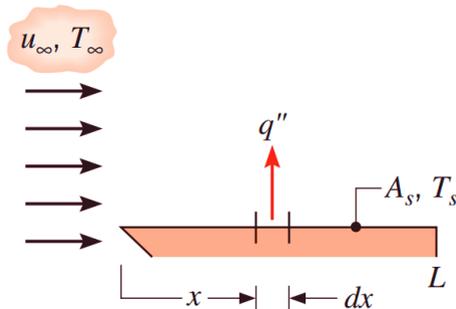
Bilangan Nusselt

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

Bilangan Prandtl

$$Pr = \frac{k}{\rho c_p}$$

Pada gambar berikut menunjukkan aliran udara kecepatan V diatas plat datar seluas A . Jika $T_s \neq T_\infty$ akan terjadi perpindahan panas. Fluks panas lokal diperoleh dari hukum NEWTON'S LAW OF COOLING:



Gambar 2.3 Konveksi Plat Datar

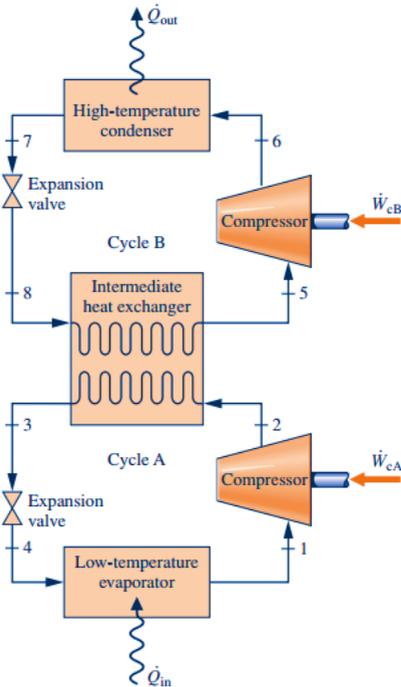
Sumber : *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition*,
 Frank P. Incropera, Hal. 383

Dimana h merupakan koefisien perpindahan panas konveksi lokal (pada satu titik tertentu), jadi h bervariasi ke arah sumbu x , demikian pula q'' juga bervariasi ke arah sumbu x .

2.2 Sistem Pendinginan *Cascade*

Pada sistem pendinginan konvensional, susunan dari dua atau lebih siklus pendinginan disebut dengan sistem pendinginan *cascade*. Pada gambar 2.4 ditunjukkan penggabungan dari 2 siklus pendinginan kompresi uap dengan nama siklus A dan B disusun secara seri dengan penghubung *counterflow heat exchanger*. Pada dasarnya, sistem pendinginan *cascade* digunakan dengan tujuan untuk diperolehnya temperatur rendah yang tidak mampu dihasilkan oleh sistem pendinginan tunggal.

Pada prinsipnya, energi yang dibuang selama proses kondensasi refrigeran di siklus A digunakan untuk menguapkan refrigeran di siklus B. Efek pendinginan yang diinginkan diperoleh dari *lower-temperature evaporator*, sedangkan panas yang diproduksi dari jalannya keseluruhan siklus dibuang melalui *high-temperature condenser*. Dengan kata lain evaporator di siklus A akan menghasilkan temperatur yang lebih rendah dari sistem pendinginan tunggal. Di samping menghasilkan temperatur yang lebih rendah, sistem pendinginan *cascade* membutuhkan daya kompresor yang lebih besar dari sistem pendinginan tunggal.



Gambar 2.4 Siklus pendingin kompresi uap cascade

Sumber : *Fundamental of Engineering Thermodynamycs 8th Edition*, Michael J. Moran

Jika diaplikasikan pada sistem pendinginan dengan *thermoelectric cooler*, maka diperlukan lebih dari 1 buah *thermoelectric cooler* untuk bisa membuat sistem pendingin *cascade*. Penggabungan 2 buah *thermoelectric cooler* dilakukan dengan menempelkan satu sisi panas dengan satu sisi dingin. Sehingga diperoleh sisi dingin di bagian bawah dan sisi panas di bagian atas yang dihubungkan dengan heatsink untuk membuang panas dari rangkaian *thermoelectric cooler* tersebut.

2.3 Thermoelectric Cooler (TEC)

Thermoelectric cooler (pendingin termoelektrik) bekerja menggunakan efek Peltier dengan memunculkan heat flux pada gabungan dari 2 tipe material pembuatnya yang

berbeda. Pendingin termoelektrik merupakan solid-state technology yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin selain sistem kompresi uap yang masih memanfaatkan refrigerant. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang menggunakan refrigerant sebagai media penyerap kalor, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan dan tahan lama.



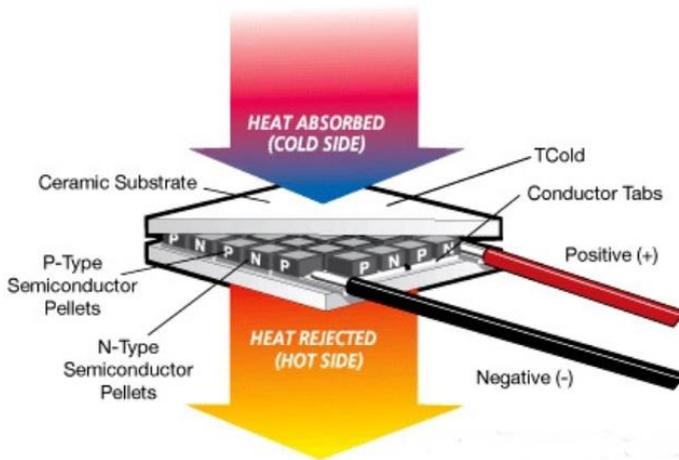
Gambar 2.5 Thermoelectric Cooler (TEC) tipe TEC1-12705

2.3.1 Konstruksi dan Prinsip Kerja

Termoelektrik dibangun oleh dua buah semikonduktor yang berbeda, semikonduktor tipe N (*negative*) dan semikonduktor tipe P (*positive*). Semikonduktor dibuat berbeda karena mereka harus memiliki kerapatan electron yang berbeda agar bisa bekerja. Kedua semikonduktor diposisikan paralel secara termal dan ujungnya digabungkan dengan lempeng pendingin (biasa dipakai lempeng tembaga atau aluminium). Ujung penghantar dari dua bahan yang berbeda dihubungkan ke sumber tegangan, dengan demikian arus listrik akan mengalir

melalui dua buah semikonduktor yang terhubung secara seri. Aliran arus listrik yang melewati dua semikonduktor tersebut menciptakan perbedaan temperatur. Rangkaian semikonduktor pada termoelektrik tunggal diapit oleh dua buah pelat keramik. Bahan semikonduktor termoelektrik yang paling sering digunakan saat ini adalah Bismuth Telluride (Bi_2Te_3).

Modul pendingin termoelektrik beroperasi berdasarkan prinsip efek Peltier. Efek Peltier ditemukan oleh Jean Charlos Athanase Peltier pada tahun 1834. Dalam penemuannya Peltier menyatakan bahwa akan berfungsi apabila arus listrik DC dialirkan pada satu atau beberapa pasangan semikonduktor tipe N dan tipe P. TEC memiliki 2 sisi permukaan, yaitu permukaan yang akan memanaskan dan permukaan yang akan mendingin.



Gambar 2.6 Konstruksi TEC

Sumber : <http://alitputraiputu.blogspot.co.id/2012/04/pendingin-termoelektriktermoelectric.html>

Pada Gambar 2.6 ditunjukkan aliran elektron dari semikonduktor P yang memiliki tingkat energi lebih rendah, menyerap kalor di bagian yang didinginkan lalu elektron mengalir menuju semikonduktor tipe N melalui konduktor

penghubung yang permukaannya akan mengalami penurunan temperatur.

Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan elektron yang bergerak ke sisi panas modul. Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap dan dilepas bergantung pada koefisien Peltier dan arus yang digunakan. Sedangkan besarnya perbedaan suhu panas dan dingin sebanding dengan arus dan jumlah pasangan semikonduktor di dalam unit.

2.3.2 Keunggulan dan Kerugian

Bila dibandingkan dengan vapor-compression system, pendinginan menggunakan termoelektrik ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

1. Lebih ramah lingkungan. Tanpa adanya refrigerant yang dipakai dalam prosesnya, modul pendingin termoelektrik tidak menghasilkan CFC (chlorofluorocarbons) yang tidak baik untuk lapisan ozon
2. Pengujian juga membuktikan bahwa termoelektrik dapat bertahan lebih dari 100.000 jam MTBF (Mean Time Between Failures)
3. Perawatannya lebih mudah dengan tidak dimilikinya bagian yang bergerak. Hal ini juga ideal untuk penggunaan yang sensitive terhadap getaran mekanis pendinginan.
4. Dapat dioperasikan pada lingkungan yang terlalu kecil untuk menggunakan pendingin vapor-compression system
5. Respon dinamis cepat, ukurannya kecil dan ringan.

Selain memberikan beberapa keunggulan tersebut, pendingin termoelektrik juga memiliki kelemahan yakni harganya yang relatif mahal dengan efisiensi yang rendah. Efisiensi termoelektrik hanya sekitar 10% - 15% atau 4 kali lebih rendah dari pendingin konvensional yang mampu menghasilkan efisiensi 40% - 60%.

2.4 Thermocouple

Thermocouple adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Efek *Thermo-electric* pada Termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Perbedaan Tegangan listrik diantara dua persimpangan (*junction*) ini dinamakan dengan Efek “*Seebeck*”.

Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (Temperature). Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C. Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan.

2.4.1 Prinsip Kerja Termokopel (Thermocouple)

Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.

Untuk lebih jelas mengenai Prinsip Kerja Termokopel, mari kita melihat gambar dibawah ini :



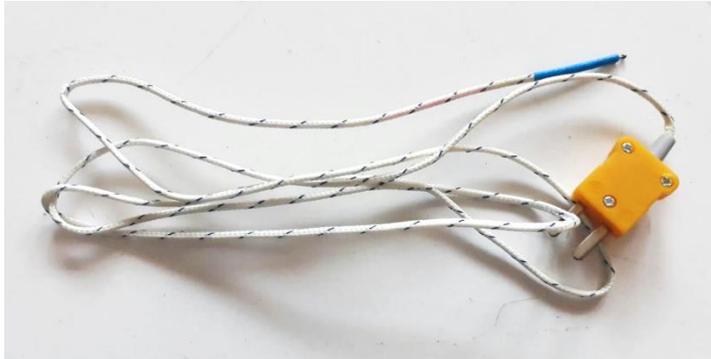
Gambar 2.7 Prinsip kerja termokopel

Sumber : <http://teknikelektronika.com/wp-content/uploads/2015/01/Konstruksi-Termokopel-thermocouple.jpg>

Berdasarkan Gambar diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu V - 70 \mu V$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh kita.

2.4.2 Jenis-jenis Termokopel (Thermocouple)

Termokopel tersedia dalam berbagai ragam rentang suhu dan jenis bahan. Pada dasarnya, gabungan jenis-jenis logam konduktor yang berbeda akan menghasilkan rentang suhu operasional yang berbeda pula. Berikut ini adalah Jenis-jenis atau tipe Termokopel yang umum digunakan berdasarkan Standar Internasional.



Gambar 2.8 Termokopel tipe K

1. Termokopel Tipe E
Bahan Logam Konduktor Positif : Nickel-Chromium
Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan
Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$
2. Termokopel Tipe J
Bahan Logam Konduktor Positif : Iron (Besi)
Bahan Logam Konduktor Negatif : Copper-Nickel
Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$
3. Termokopel Tipe K
Bahan Logam Konduktor Positif : Nickel-Chromium
Bahan Logam Konduktor Negatif : Nickel-Aluminium
Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$
4. Termokopel Tipe N
Bahan Logam Konduktor Positif : Nicrosil
Bahan Logam Konduktor Negatif : Nisil
Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$
5. Termokopel Tipe T
Bahan Logam Konduktor Positif : Copper (Tembaga)
Bahan Logam Konduktor Negatif : Constantan
Rentang Suhu : $-200^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$
6. Termokopel Tipe U (kompensasi Tipe S dan Tipe R)
Bahan Logam Konduktor Positif : Copper (Tembaga)
Bahan Logam Konduktor Negatif : Copper-Nickel
Rentang Suhu : $0^{\circ}\text{C} - 1450^{\circ}\text{C}$

2.5 Polyurethane

Polyurethane adalah suatu bahan campuran atau hasil pengisolvenan antara karet dan plastik sehingga didapatkan pelarutan material yang memiliki keunggulan sangat tahan gesek, tahan aus, tahan terhadap beberapa kimia ringan, stabil dalam suhu dingin dan panas. Kimia suatu bahan atau campuran yang didalamnya terdapat kandungan nitrogen, karbon dioksida dan oksigen, Polyurethane merupakan bahan polymeric yang mengandung berbagai kumpulan urethane (-NH-CO-O-) yang terbentuk dari reaksi antara polyol (alkohol dengan lebih dari dua grup hidroksil reaktif per molekul) dengan diisocyanate atau polymeric isocyanate dengan ketersediaan katalis yang sesuai serta bahan-bahan tambahan.

Saat ini Polyurethane diproduksi dan digunakan dalam skala industri, dan dapat dipesan dengan diformulasikan untuk kegunaan tertentu. Polyurethane dapat ditemukan pada bahan pelapis dan bahan perekat, elastomers, dan busa yang keras. Busa lentur untuk bantal yang nyaman tersedia di pasar. Dengan mengembangkan polyether polyol yang berbiaya rendah, maka dapat digunakan juga untuk membuat kain pelapis, maupun penerapan lainnya di bidang otomotif seperti yang kita kenal saat ini.



Gambar 2.9 Polyurethane

Sumber : http://millikenchemical.com/site/user/images/Reactint_coloring_polyurethane_thermoset_resin.jpg

Polyurethane bisa dinilai sebagai material yang bisa digunakan dengan konsumsi energi yang rendah dan relatif membuat pengeluaran atas perbaikan dan perawatan mesin-mesin maupun perlengkapan perlengkapan pabrik menjadi lebih murah dan efisien karena keunggulan dan sifat sifat yang dimilikinya.

Beberapa Keunggulan Polyurethane :

- a) Kekerasannya sangat beragam yaitu dari shore A sampai dengan shore D.
- b) Amat sangat tahan aus.
- c) Amat sangat tahan pukulan.
- d) Amat sangat tahan gesek.
- e) Cocok untuk heavy duty industry.
- f) Kekenyalan yang sangat baik.
- g) Tetap flexible pada temperature rendah.
- h) Kemampuan isolasi yang baik.
- i) Ketahanan terhadap keburukan yang disebabkan oleh atmosfer, oksigen dan ozon.
- j) Tahan terhadap oli, gemuk dan beberapa bahan kimia lainnya.

2.6 Temperature Data Logger

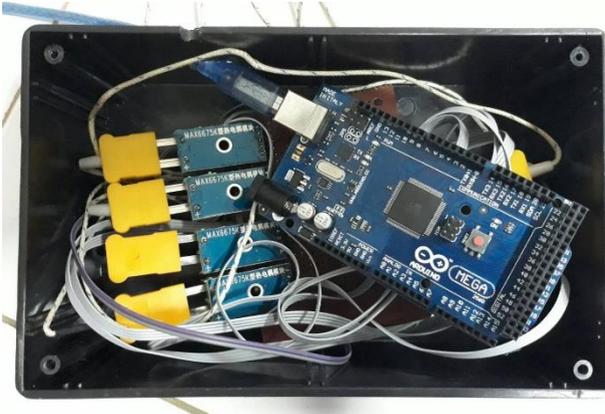
Logging data (*data logging*) adalah proses otomatis pengumpulan dan perekaman data dari sensor untuk tujuan pengarsipan atau tujuan analisis. Sensor digunakan untuk mengkonversi besaran fisik menjadi sinyal listrik yang dapat diukur secara otomatis dan akhirnya dikirimkan ke komputer atau mikroprosesor untuk pengolahan. Berbagai macam sensor sekarang tersedia. Sebagai contoh, suhu, intensitas cahaya, tingkat suara, sudut rotasi, posisi, kelembaban relatif, pH, oksigen terlarut, pulsa (detak jantung), bernapas, kecepatan angin, dan gerak. Selain itu, banyak peralatan laboratorium dengan output listrik dapat digunakan bersama dengan konektor yang sesuai dengan data logger.



Gambar 2.10 Data logger arduino

Data logger (perekam data) adalah sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen didalamnya maupun eksternal sensor dan instrumen. Atau secara singkat data logger adalah alat untuk melakukan data logging.

Biasanya ukuran fisiknya kecil, bertenaga baterai, portabel dan dilengkapi dengan mikroprosesor, memori internal untuk menyimpan data dan sensor. Beberapa *data logger* diantarmukakan dengan komputer dan menggunakan *software* untuk mengaktifkan *data logger* dan melihat dan menganalisa data yang terkumpul, sementara yang lain memiliki peralatan antarmuka sendiri (*keypad* dan *LCD*) dan dapat digunakan sebagai perangkat yang berdiri sendiri (*Stand-alone device*).



Gambar 2.11 Rangkaian data logger dan sensor suhu

Salah satu keuntungan menggunakan *data logger* adalah kemampuannya secara otomatis mengumpulkan data setiap 24 jam. Setelah diaktifkan, *data logger* digunakan dan ditinggalkan untuk mengukur dan merekam informasi selama periode pemantauan. Hal ini memungkinkan untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang kondisi lingkungan yang dipantau, contohnya seperti suhu udara dan kelembaban relatif.

2.7 Joulemeter

Merupakan sebuah alat ukur digital yang difungsikan untuk mengukur daya listrik (Watt), kuat arus listrik (Ampere), tegangan listrik (Volt) yang sedang digunakan pada rangkaian alat elektronik. Alat ukur ini memiliki dua ujung yang masing-masing memiliki kabel positif dan negatif. Ujung di satu sisi dihubungkan dengan sumber listrik sedangkan ujung lainnya dihubungkan dengan rangkaian alat elektronik. Joulemeter akan otomatis menyala ketika ada aliran listrik yang melewatinya.



Gambar 2.12 Joulemeter

2.8 Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan untuk mengukur arah. Kata anemometer berasal dari Yunani anemos yang berarti angin. Anemometer ini pertama kali diperkenalkan oleh Leon Battista Alberti dari Italia pada tahun 1450. Anemometer harus ditempatkan di daerah terbuka. Pada saat tertiuip angin, baling-baling atau mangkok yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai arah angin. Makin besar kecepatan angin meniup mangkok-mangkok tersebut, makin cepat pula kecepatan berputarnya piringan mangkok-mangkok. Dari jumlah putaran dalam satu detik maka dapat diketahui kecepatan anginnya. Di dalam anemometer terdapat alat pencacah yang akan menghitung kecepatan angin.

Fungsi Anemometer :

- Mengukur kecepatan angin
- Memperkirakan cuaca
- Memperkirakan tinggi gelombang laut
- Memperkirakan kecepatan dan arah arus



Gambar 2.13 Anemometer

Secara umum ada dua jenis anemometer, yaitu anemometer yang mengukur kecepatan angin (*velocity anemometer*) dan anemometer yang mengukur tekanan angin (*anemometer tekanan*). Dari kedua tipe anemometer ini velocity anemometer lebih banyak digunakan. Salah satu jenis dari velocity anemometer adalah thermal anemometer lebih dikenal dengan hot wire anemometer yaitu anemometer yang mengkonversi perubahan suhu menjadi kecepatan angin. Tetapi karena keduanya memiliki hubungan yang sama, maka anemometer dirancang untuk memberikan informasi tentang keduanya.

2.9 Heatsink-Fan

Heatsink adalah logam dengan design khusus yang terbuat dari alumunium atau tembaga (bisa merupakan kombinasi kedua material tersebut) yang berfungsi untuk memperluas transfer panas dari sebuah prosesor.

Biasanya terbuat dari aluminium dan dipadukan dengan pemakaian fan pada heatsink untuk mengoptimalkan penyerapan panas yaitu dengan mengalirkan panas dari heatsink ke luar cpu, ini akan meningkatkan performa kerja komputer.



Gambar 2.14 Heatsink-fan

Penerapannya pada rangkaian sistem pendingin termoelektrik adalah dengan menempelkannya pada sisi panas dari termoelektrik. Dengan begitu termoelektrik sisi panas tidak akan overheat dan efek pendinginannya tidak berkurang. Hanya saja fan yang digunakan adalah yang memiliki aliran keluar atau menghisap panas dari sirip-sirip heatsink dan membuangnya ke lingkungan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

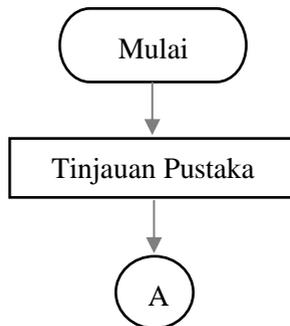
3.1 Tahap Penelitian

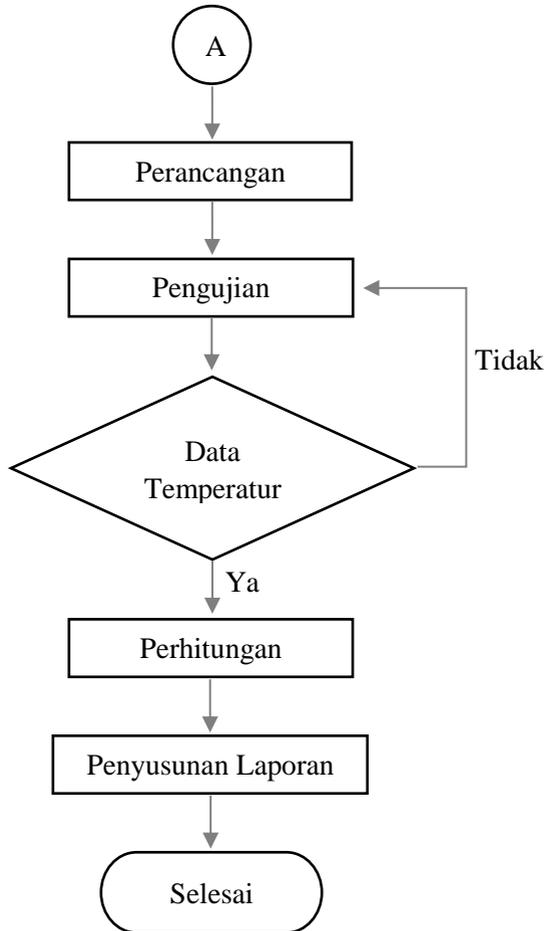
Pembahasan mengenai kaji eksperimental *cool box* menggunakan TEC1-12705 *cascade* pada tugas akhir ini memiliki 3 tahapan pokok yang dilakukan, diantaranya :

Tahap pertama melakukan identifikasi masalah pada berbagai masalah yang dapat diselesaikan dengan disiplin ilmu yang dipahami, kemudian dari berbagai permasalahan yang ada dirumuskan menjadi rumusan masalah, setelah rumusan masalah didapat, selanjutnya menentukan tujuan dan manfaat dari penelitian. Selain itu, perlu dilakukan studi pustaka dari berbagai teori penunjang dan beberapa penelitian sebelumnya.

Tahap kedua adalah melakukan pengambilan data. Data-data yang diperlukan diambil dari data penelitian sebelumnya sebagai sumber yang terpercaya dan berisi tentang *temperature*, *performance* dan *heat transfer* yang telah dirancang dari masing-masing *input-output*.

Tahap ketiga adalah pengolahan data. Data-data tersebut digunakan untuk mengetahui besar unjuk kerja thermoelektrik dan menghitung koefisien perpindahan panas konduksi dan konveksi yang terjadi.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Berikut ini keterangan mengenai proses penyelesaian tugas akhir berdasarkan diagram alir.

3.2.1 Tinjauan Pustaka

Sebelum mulai melakukan perancangan alat, diperlukan literatur yang berkaitan dengan pembuatan alat hingga pengujian alat. Literatur sebagai dasaran teori

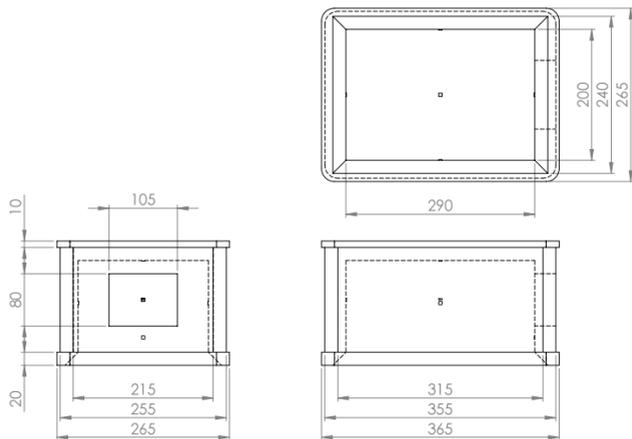
penelitian dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, laporan penelitian dan internet. Selain itu juga diperlukan informasi mengenai komponen-komponen dan alat ukur apa saja yang digunakan.

3.2.2 Perancangan Alat

Proses perancangan alat dimulai dengan pencarian barang-barang yang dibutuhkan yaitu *box* penyimpan makanan berbahan plastik, *polyurethane*, termoelektrik, heatsink, dan fan. Setelah itu, barang-barang tersebut dirangkai hingga menjadi kotak pendingin yang siap untuk diuji.

Berikut langkah-langkah pembuatan *cool box* :

1. Konstruksi kotak pendingin dibuat menggunakan dua buah kotak plastik dengan ukuran yang berbeda. Kotak B yang berukuran lebih kecil ditempatkan di dalam kotak A. Untuk membuat kotak terisolasi, larutan *polyurethane* dituang di ruang yang terdapat antara kotak A dan B.



Gambar 3.2 Dimensi *cool box*

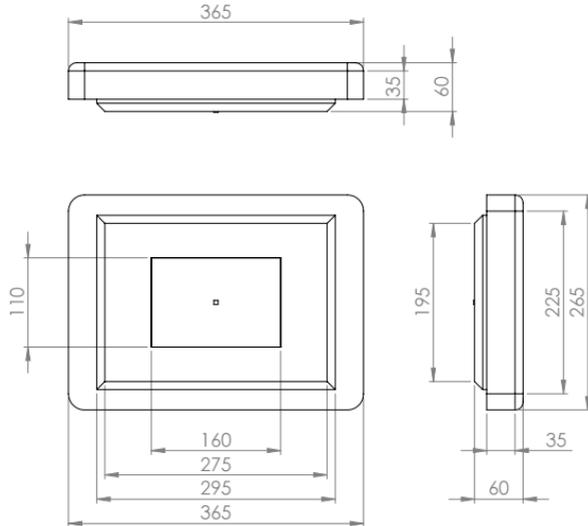
2. Larutan *polyurethane* berfungsi sebagai isolator untuk meminimalkan perpindahan panas dari dalam keluar

kotak maupun sebaliknya. Setelah campuran polyurethane dibuat, kemudian dituang ke kotak A yang di dalamnya terdapat kotak B. Larutan akan mengembang dan mengeras sehingga seluruh sisi luar kotak B tertutup dan lengket dengan kotak A. Polyurethane yang mengeras dan mengembang hingga ke luar kotak dirapikan dengan cara dipotong kemudian dihaluskan permukaannya yang nampak di bagian atas.



Gambar 3.3 Kotak pendingin yang sudah dirangkai

3. Salah satu sisi kotak dilubangi dengan bentuk persegi untuk menempatkan rangkaian sistem pendingin
4. Selain kotak, bagian tutup kotak pendingin juga diberi perlakuan yang sama menggunakan polyurethane. Kemudian bagian tengah dibuat lubang berbentuk persegi. Lubang tersebut akan diberi akrilik bening sehingga bagian dalam kotak bisa terlihat dari luar.



Gambar 3.4 Dimensi tutup *cool box*



Gambar 3.5 Tutup kotak pendingin yang sudah dirangkai

Adapun cara perangkaian sistem pendingin termoelektrik :

1. Barang-barang yang perlu disediakan diantaranya *heatsink* dan *fan*, TEC1-17205 dua buah, *silicon grease*, *heatsink-fan* kecil, akrilik, serta mur dan baut.

2. TEC1-17205 pertama pada sisi panas nya diberi silicon grease kemudian TEC1-17205 kedua sisi dinginnya ditempelkan di bagian yang sudah diberi *silicon grease*. Setelah itu sisi panas dari kedua termoelektrik tersebut ditempelkan pada heatsink menggunakan *silicon grease*.
3. Akrilik berbentuk persegi dengan ukuran lebih luas dari heatsink dilubangi di bagian tengahnya dengan ukuran yang sama dengan luas termoelektrik, lalu ditempelkan pada heatsink.
4. Komponen selanjutnya adalah heatsink-fan, oleskan *silicon grease* pada permukaan termoelektrik secara merata kemudia tempelkan heatsink-fan di atasnya.
5. Agar rangkaian menempel dengan baik, pasang mur dan baut yang panjangnya bisa menjangkau dari fin pada heatsink hingga heatsink-fan atau hetsink yang lebih kecil.



Gambar 3.6 Rangkaian pendingin termoelektrik

3.2.3 Pengambilan Data

Pada saat pengujian data yang diambil adalah temperatur ruangan, kuat arus listrik (Ampere), tegangan listrik (Volt) dan data temperatur yang diukur di waktu yang sama dan setiap thermocouple ditempatkan di setiap dinding di dalam cool box, berikut data yang diperoleh :

- a. Data temperatur tiap dinding yang sudah dirata-rata dari pengujian sistem pendingin *cascade* dengan menggunakan 2 fan :

T1 : 25,56 °C

T4 : 24,65 °C

T2 : 26,44 °C

T5 : 24,20 °C

T3 : 26,21 °C

T6 : 20,29 °C

- b. Temperatur ruangan : 28 °C

- c. Kuat arus : 3,93 Ampere

- d. Tegangan : 10,55 Volt

3.2.4 Perhitungan

Untuk mencari laju perpindahan panas secara konveksi digunakan rumusan di bawah ini :

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$q = hA(T_s - T_\infty) \text{ (Watt)}$$

Keterangan :

q'' : fluks panas konveksi (W/m²)

T_s : temperatur permukaan padat (K)

T_∞ : temperatur rata-rata fluida (K)

h : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²K)

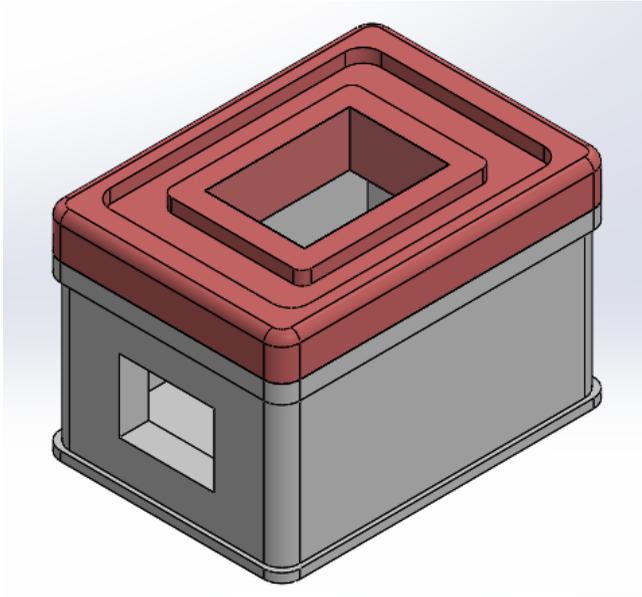
3.2.5 Penyusunan Laporan

Setelah semua rangkaian pembuatan alat sudah dilakukan begitu juga dengan pengujian dan perhitungan data, proses selanjutnya adalah menyusun keseluruhan kegiatan tersebut dalam bentuk laporan lengkap dengan teori penunjang dan kesimpulan yang didapat dari penelitian tugas akhir ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV PEMBAHASAN DAN PERHITUNGAN

4.1 Desain *Cool Box*



Gambar 4.1 Desain *Cool Box*

Detail desain *cool box*, bahan yang digunakan dan dimensi antara lain:

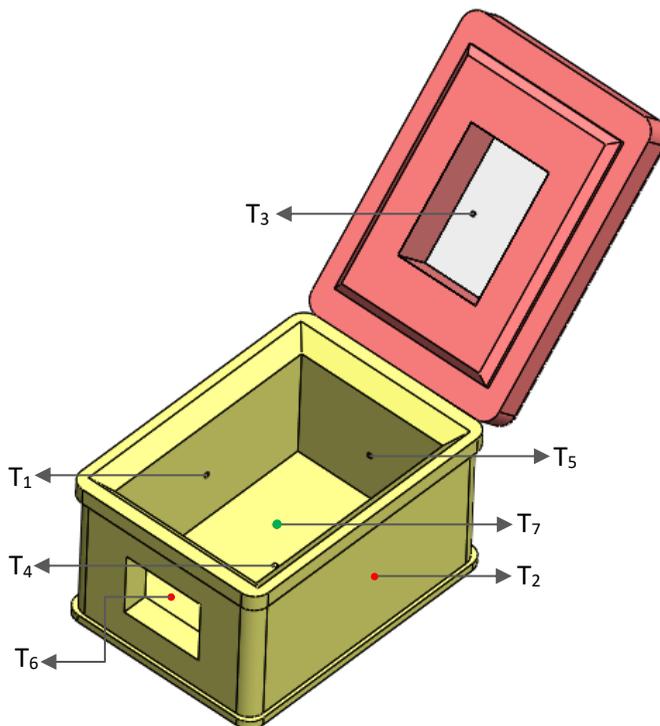
- a. Memiliki 3 lapis dinding dengan urutan dari dalam *cool box*, Polypropylene-polyurethane-polypropylene.
- b. Dengan dimensi *cool box*,
Panjang = 290 mm
Lebar = 210 mm
Kedalaman = 160 mm
 - Lapisan I, tebal = 2 mm
 - Lapisan II, tebal = 30 mm
 - Lapisan III, tebal = 2 mm

4.2 Data yang Diperlukan

Dalam perhitungan perpindahan panas dibutuhkan data pendukung untuk dapat melakukan perhitungan distribusi temperatur pada setiap dinding. Berikut data yang diperlukan.

4.2.1 Data Temperatur

Pengambilan data temperatur dilakukan dengan posisi kotak pendingin berdiri, sumber pendinginnya terletak dibagian berlubang di atas kotak.



Gambar 4.2 Titik-titik pengukuran data temperatur

Keterangan :

T1 = diukur di dinding sisi kanan

T2 = diukur di dinding sisi kiri

T3 = diukur di dinding sisi depan atau pada bagian tutup

T4 = diukur di dinding sisi belakang

T5 = diukur di dinding sisi bawah

T6 = diukur di dinding sisi atas

T7 = diukur di tengah-tengah ruangan cool box

(digunakan sebagai T_{∞} atau T_{sur})

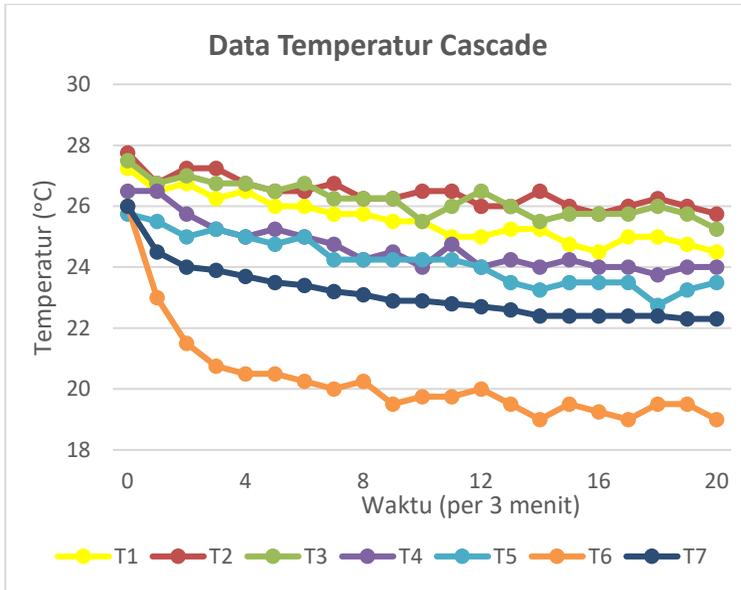
Dari data-data yang diperoleh berdasarkan pengujian, didapatkan rata-rata temperatur pada setiap dinding sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Rata-Rata Temperatur di Tiap Dinding

	T_s (°C)	T_{sur} (°C)	T_F (°C)
T1	25,56	23,13	24,345
T2	26,44	23,13	24,785
T3	26,21	23,13	24,67
T4	24,65	23,13	23,89
T5	24,2	23,13	23,665
T6	20,29	23,13	21,71

Dapat dilihat dari rata-rata hasil pengujian di atas bahwa temperatur di masing-masing titik pengukuran berbeda. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan jarak antara titik pengukuran dengan sumber pendingin dan luasan permukaan dari masing-masing dinding.

Pengukuran yang dilakukan selama satu jam dan dengan selang waktu 3 menit untuk setiap data yang diambil menunjukkan adanya penurunan temperatur seiring dengan bertambahnya waktu. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3 Grafik data temperatur.



Gambar 4.3 Grafik data temperatur tiap dinding

4.2.2 Data Properties Udara

Tabel 4.2 Data Properties Udara

	ρ (kg/m ³)	$\mu \times 10^7$ (kg/ms)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	$k \times 10^3$ (W/m.k)	Pr
T1	1,1738	183,3	15,65	26,11	0,708
T2	1,1717	183,5	15,69	26,17	0,708
T3	1,1723	183,4	15,68	26,15	0,708
T4	1,1759	183	15,61	26,1	0,708
T5	1,177	182,9	15,59	26	0,708
T6	1,1861	182	15,42	25,9	0,708

4.3 Pengolahan Data

Setelah data awal diperoleh dari data temperatur yang kemudian data properties temperatur didapat, maka setelah itu

melakukan pengolahan data. Dari data tersebut berikut pengolahannya,

- Bilangan Reynolds:

$$R_{eL} = \frac{\rho VL}{\mu}$$

- Bilangan Nusselt:

$$N_{uL} = 0,664 (R_{ex})^{\frac{1}{2}} (Pr)^{\frac{1}{3}}$$

- *Coefficient Convection*

$$h = \frac{N_{uL} \cdot k}{L}$$

- *Newton Law of Cooling*

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

- Perpindahan Panas Konveksi

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

Berikut salah satu hasil perhitungan perpindahan panas konveksi pada titik temperatur 1 (T1),

1. Diketahui pada titik T1 memiliki,

$$T_s = 25,56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P = 0,9 \text{ m}$$

$$T_\infty = 23,13 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = 4,64 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$V = 1,764 \text{ m/s}$$

2. Ditanyakan, dari data tersebut maka tentukan bagaimana distribusi temperatur secara konveksi pada permukaan T1.
3. Jawab, berikut pengolahan data berdasarkan T1,

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

$$D_h = \frac{4(p \cdot t)}{2(p + t)}$$

$$D_h = \frac{2(290 \cdot 160) \text{ mm}^2}{(290 + 160) \text{ mm}}$$

$$D_h = \frac{2(46400) \text{ mm}^2}{(450) \text{ mm}}$$

$$D_h = \frac{2(46400) \text{ mm}^2}{(450) \text{ mm}}$$

$$D_h = 206,2 \text{ mm}$$

$$D_h = 0,206 \text{ m}$$

- **Bilangan Reynolds**

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu}$$

$$Re_L = \frac{1,1738 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,764 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,206 \text{ m}}{183,3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re_L = \frac{0,426 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}{183,3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re_L = 23295,159$$

- **Bilangan Nusselt**

$$Nu_{UL} = 0,664 (Re_x)^{\frac{1}{2}} (Pr)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{UL} = 0,664 (23295,159)^{\frac{1}{2}} (0,708)^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{UL} = 90,43$$

- **Coefficient of Convection**

$$h = \frac{Nu_{UL} \cdot k}{L}$$

$$h = \frac{90,43 \cdot 26,11 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{0,206 m}$$

$$h = \frac{2,3611 \frac{W}{m \cdot K}}{0,206 m}$$

$$h = 11,45 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- **Newton law of Cooling**

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

$$q'' = 11,45 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (T_s - T_\infty)K$$

$$q'' = 11,45 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (297,345 - 296,13)K$$

$$q'' = 11,45 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (1,215)K$$

$$q'' = 13,911 \frac{W}{m^2}$$

- **Perpindahan Panas Konveksi**

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

$$q = 11,45 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (0,0464)m^2 \cdot (297,345 - 296,13)K$$

$$q = 11,45 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (0,0464)m^2 \cdot (1,215)K$$

$$q = 1,291 W$$

Berikut perpindahan panas tiap titik dinding *Cool Box* dimunculkan dalam bentuk tabel.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Tiap Dinding (*Cascade*)

	L (m)	ReD	NuL	h (W/m².K)	q (Watt)
T1	0,206	23295,159	90,430	11,449	1,291
T2	0,206	23228,138	90,300	11,459	1,760
T3	0,237	26693,156	96,801	10,693	1,910
T4	0,237	26833,652	97,055	10,700	0,943
T5	0,178	20180,820	84,168	12,310	0,421
T6	0,217	24962,843	93,611	11,166	0,964

Selama proses pengujian, sistem pendingin ini menggunakan sumber listrik yang berasal dari *power supply*, untuk mengetahui berapa daya yang digunakan oleh sistem pendingin *Cool box* selama sekali pengujian dalam waktu sejam, berikut data yang dimiliki;

$$I = 3,93 \text{ Ampere}$$

$$V = 10,55 \text{ volt}$$

Maka daya yang dibutuhkan untuk sekali percobaan,

$$P = IV$$

$$P = 3,93 \text{ A} \cdot 10,55 \text{ volt}$$

$$P = 41,46 \text{ Watt}$$

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, maka setiap melakukan pengujian membutuhkan daya 41,46 Watt dengan temperatur terendah 19 °C pada titik T6 pada kurun waktu satu jam.

4.4 Perbandingan dengan Sistem Pendingin TEC1-12705 Tunggal

Pada prinsipnya, siklus cascade dibuat untuk menghasilkan temperatur yang lebih rendah yang tidak mampu dihasilkan oleh sistem pendinginan tunggal. Berikut ini hasil

perhitungan perpindahan panas konveksi pada sistem pendinginan tunggal

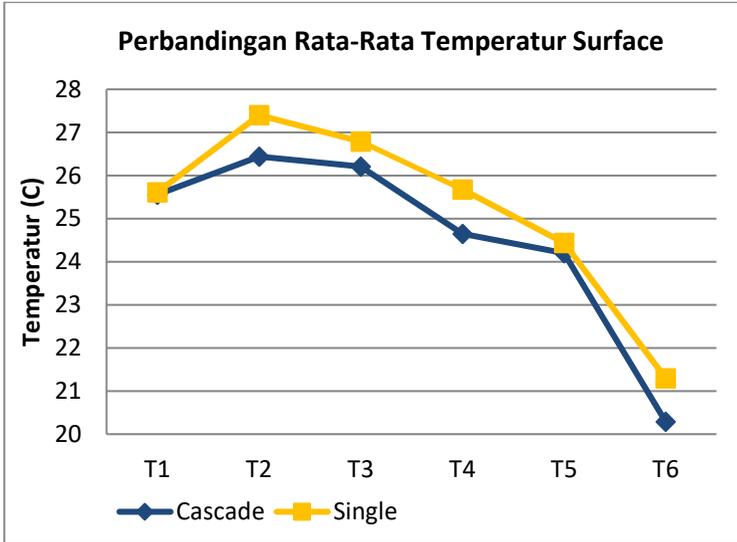
Tabel 4.4 Laju perpindahan panas sistem pendingin *single* dan *cascade*

	q (Watt) <i>Single</i>	q (Watt) <i>Cascade</i>
T1	0,77	1,291
T2	1,72	1,760
T3	1,63	1,910
T4	0,94	0,943
T5	0,11	0,421
T6	1,29	0,964

Dengan menggunakan metode pengujian yang sama, data temperatur yang diperoleh pada sistem pendingin *single* ini menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi dari data temperatur hasil pengujian *cascade*.

Tabel 4.5 Data temperatur hasil pengujian sistem *Single* dan *Cascade*

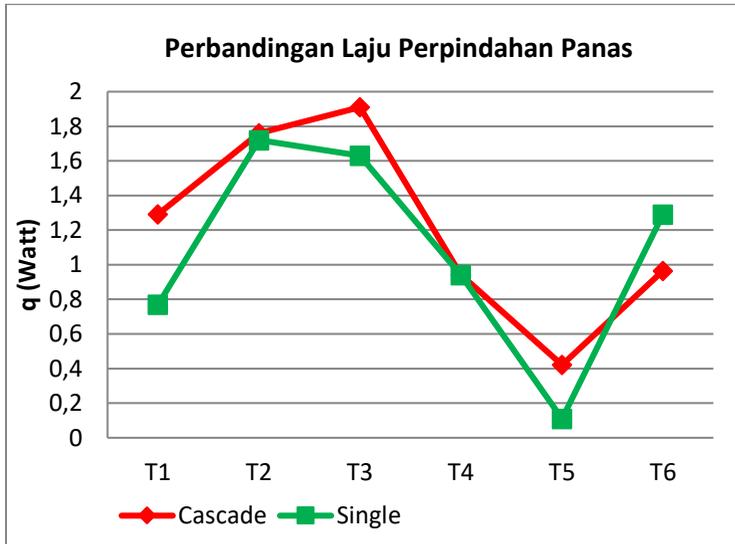
	T_s (°C) <i>Single</i>	T_s (°C) <i>Cascade</i>
T1	25,61	25,56
T2	27,40	26,44
T3	26,79	26,21
T4	25,68	24,65
T5	24,44	24,2
T6	21,30	20,29



Gambar 4.4 Grafik perbandingan temperatur *cascade* dan *Single*

Temperatur yang mampu dihasilkan atau terukur di setiap dinding pada pengujian dengan sistem single TEC1-12705 cenderung lebih tinggi dari rata-rata temperatur yang dihasilkan oleh sistem pendingin *cascade*. Hal tersebut sesuai dengan prinsip sistem *cascade* yang memang ada untuk menghasilkan temperatur yang lebih rendah dari sistem *single*.

Namun perbedaan temperatur yang diperoleh tidak terlalu besar karena sistem pembuangan panas di sisi panas termoelektrik pada pendingin *cascade* kurang maksimal.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan laju perpindahan panas *cascade* dan *single*

Laju perpindahan panas di setiap titik pengukuran pada sistem *single* maupun *cascade* berbeda dikarenakan temperatur yang terukur di tiap permukaan dinding berbeda. Selain itu juga karena luas permukaannya berbeda di setiap sisi.

Perbedaan antara temperatur permukaan tiap dinding dengan temperatur *surrounding* yang semakin besar juga mengakibatkan lebih besarnya nilai laju perpindahan panas. Semakin besar luas permukaannya, nilai laju perpindahan panas di sisi tersebut juga semakin besar.

Karena perbedaan temperatur permukaan dinding dengan temperatur *surrounding* pada sistem *single* lebih kecil dari sistem *cascade*, maka nilai laju perpindahan panas pada sistem *cascade* cenderung lebih tinggi dari sistem *single*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan dan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Temperatur ruangan di luar *cool box* mempengaruhi temperatur awal setiap titik pengukuran
2. Temperatur di dalam *cool box* paling rendah yang mampu dihasilkan dengan sistem pendinginan *cascade* adalah 19 °C.
3. Arah aliran fan untuk mendinginkan heatsink dan heatsink-fan penyebar dingin berpengaruh pada nilai temperatur di dalam *cool box*.
4. Daya yang digunakan untuk proses operasi rangkaian pendingin termoelektrik berpengaruh pada temperatur yang dihasilkan.
5. Sistem pendingin *cascade* mampu menghasilkan temperatur lebih rendah dari sistem pendingin *single*.

5.2 Saran

1. Temperatur di dalam *cool box* dapat lebih rendah dengan penambahan jumlah fan untuk membuang panas
2. Pilih fan yang arah alirannya untuk membuang panas atau ke arah lingkungan bukan ke arah heatsink serta putaran yang lebih cepat
3. Gunakan heatsink dengan ukuran fin yang lebih tipis dan jumlah yang lebih banyak agar pembuangan panas lebih maksimal

DAFTAR PUSTAKA

1. Aziz, Azridal., Silpana, Villager., Subroto, Joko. 2015. "Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman". Pekanbaru : Universitas Riau.
2. Bergman, Theodore L., Incropera, Frank P., Lavine, Adrienne S. 2011. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer" 7th Edition. John Wiley & Sons, Incorporated.
3. Chamorro, Diego G., Dumitru, Jean B., Morega, Alexandru M., dan Morega, Mihaela. 2013. "Numerical Simulation of Thermoelectric Heat Transfer Management". Bucharest, Romania.
4. Holman, J. P. 2002. "Heat Transfer" SI units . McGraw-Hill Education. India.
5. Gouws, Rupert dan Eilers, Houston. 2013. "A Review on Thermoelectric Cooling Modules : Installation Design, Performance and Efficiency". Potchefstroom, South Africa : North-West University
6. Moran, Michael j dan Howard N Saphiro. 2014. "Fundamental of Engineering Thermodynamics" 8th Edition. John Wiley & Sons Inc Kingdom.
7. Priambodo, Davit. 2016. "Kaji Eksperimen dan Numerik Cold Storage Termoelektrik 72 Watt". Tugas Akhir. D3 Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
8. Sugiayanto. 2008. "Pengembangan Cool Box Modul Termoelektrik". Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
9. Wikipedia. "Thermoelectric Cooling". From Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_cooling (diakses 17/03/2017)

DATA TEMPERATUR CASCADE

Pengambilan data setiap 3 menit, menggunakan 2 fan

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0	27,25	27,75	27,5	26,5	25,75	26	26
1	26,5	26,75	26,75	26,5	25,5	23	24,5
2	26,75	27,25	27	25,75	25	21,5	24
3	26,25	27,25	26,75	25,25	25,25	20,75	23,9
4	26,5	26,75	26,75	25	25	20,5	23,7
5	26	26,5	26,5	25,25	24,75	20,5	23,5
6	26	26,5	26,75	25	25	20,25	23,4
7	25,75	26,75	26,25	24,75	24,25	20	23,2
8	25,75	26,25	26,25	24,25	24,25	20,25	23,1
9	25,5	26,25	26,25	24,5	24,25	19,5	22,9
10	25,5	26,5	25,5	24	24,25	19,75	22,9
11	25	26,5	26	24,75	24,25	19,75	22,8
12	25	26	26,5	24	24	20	22,7
13	25,25	26	26	24,25	23,5	19,5	22,6
14	25,25	26,5	25,5	24	23,25	19	22,4
15	24,75	26	25,75	24,25	23,5	19,5	22,4
16	24,5	25,75	25,75	24	23,5	19,25	22,4
17	25	26	25,75	24	23,5	19	22,4
18	25	26,25	26	23,75	22,75	19,5	22,4
19	24,75	26	25,75	24	23,25	19,5	22,3
20	24,5	25,75	25,25	24	23,5	19	22,3
<i>av</i>	<i>25,56</i>	<i>26,44</i>	<i>26,21</i>	<i>24,65</i>	<i>24,20</i>	<i>20,29</i>	<i>23,13</i>

DATA TEMPERATUR SINGLE

Percobaan single peltier 2 fan , pengambilan data setiap 3 menit

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
0	27,5	28,5	28,25	28	23,5	27,25	26,7
1	26,5	28,5	28,25	27	26,25	20,5	26,8
2	26	28,75	28,25	26,75	25,75	21	26,8
3	26,75	28,5	27,5	26,5	25,5	21,25	25,5
4	25,75	28,5	27,25	26	24,75	21,5	24,6
5	26	28,25	27,5	26,25	25,5	21	24,5
6	25,75	27,75	27,75	25,75	24,75	21	24,1
7	25,75	27,75	27,5	25,75	25	20,5	23,8
8	25,75	27,5	27,25	26	24,75	21,75	24,2
9	25,75	27,5	27	25,75	24,75	21,5	23,8
10	25,75	27,25	26,25	25,5	24,25	21,75	23,7
11	25,5	27,75	26,25	25,75	24,5	21,5	23,6
12	25,25	27,25	26,25	25,5	24	20,75	23,4
13	25,25	27	26	25,25	24	21,25	23,5
14	25,25	26,25	26,25	24,75	24	21,25	23,4
15	25	26,5	25,75	24,75	24	21	23,3
16	24,75	26,5	26	25	23,75	20,75	23,3
17	25	26,75	26	24,75	24	20,25	23,2
18	25	26	25,5	25	23,25	20,5	23,2
19	24,75	26	26	24,5	23,75	20,5	23,2
20	24,75	26,75	25,75	24,75	23,25	20,5	23

av 25,607 27,405 26,786 25,679 24,44 21,298 24,171

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
Ammonia (NH₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869



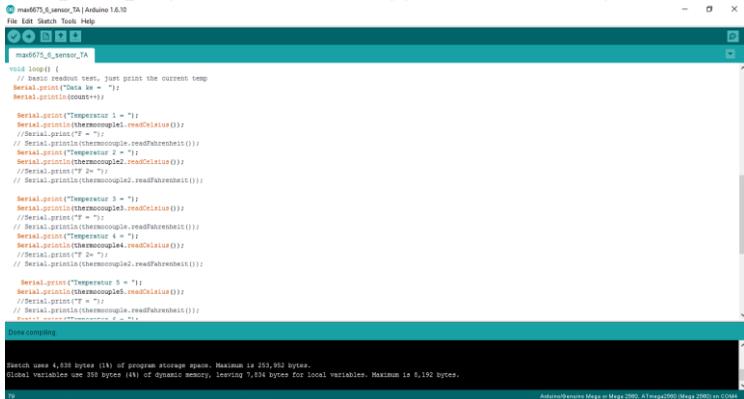
Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	43	49
Delta Tmax (°C)	66	75
I _{max} (Amps)	5.3	5.3
V _{max} (Volts)	14.2	16.2
Module Resistance (Ohms)	2.40	2.75



LAMPIRAN

Tampilan program untuk data logger (Arduino Mega 2560)



```
void loop() {
  // Analog readout done, just print the current temp
  Serial.println("Data ke = ");
  Serial.println(count++);

  Serial.println("Temperatur 1 = ");
  Serial.println(thermocoupleA1.readCelsius());
  //Serial.println("F = ");
  // Serial.println(thermocoupleA1.readFahrenheit());
  Serial.println("Temperatur 2 = ");
  Serial.println(thermocoupleA2.readCelsius());
  //Serial.println("F = ");
  // Serial.println(thermocoupleA2.readFahrenheit());

  Serial.println("Temperatur 3 = ");
  Serial.println(thermocoupleA3.readCelsius());
  //Serial.println("F = ");
  // Serial.println(thermocoupleA3.readFahrenheit());
  Serial.println("Temperatur 4 = ");
  Serial.println(thermocoupleA4.readCelsius());
  // Serial.println(thermocoupleA4.readFahrenheit());

  Serial.println("Temperatur 5 = ");
  Serial.println(thermocoupleA5.readCelsius());
  //Serial.println("F = ");
  // Serial.println(thermocoupleA5.readFahrenheit());

  delay(1000);
}
```

Sketch uses 4,438 bytes (3%) of program storage space. Maximum is 351,862 bytes.
Global variables use 355 bytes (4%) of dynamic memory, leaving 7,634 bytes for local variables. Maximum is 8,192 bytes.

Tampilan Serial Monitor Arduino Mega 2560



```
Data ke = 4
Temperatur 1 = 27.25
Temperatur 2 = 25.75
Temperatur 3 = 25.00
Temperatur 4 = 26.50
Temperatur 5 = 26.00
Temperatur 6 = 22.50

Data ke = 5
Temperatur 1 = 27.00
Temperatur 2 = 25.50
Temperatur 3 = 25.00
Temperatur 4 = 26.25
Temperatur 5 = 26.25
Temperatur 6 = 21.50

Data ke = 6
Temperatur 1 = 27.00
Temperatur 2 = 25.75
Temperatur 3 = 27.50
Temperatur 4 = 26.50
Temperatur 5 = 25.75
Temperatur 6 = 22.00

Data ke = 7
Temperatur 1 = 26.50
Temperatur 2 = 25.75
Temperatur 3 = 26.00
Temperatur 4 = 25.75
Temperatur 5 = 25.25
Temperatur 6 = 21.25

Data ke = 8
Temperatur 1 = 26.25
Temperatur 2 = 25.00
Temperatur 3 = 27.75
Temperatur 4 = 26.25
Temperatur 5 = 25.75
```

Autocroll You've pressed Send but nothing was sent. Should you select a line ending? [No line ending] 9600 baud

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Blitar pada tanggal 30 Juli 1996 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara.

Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis yaitu TK PKK Kalijudan, SDN Kalijudan 1, SMPN 9 Surabaya, SMAN 19 Surabaya. Pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswi di Jurusan D3 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP 2114030036. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan tugas akhir.

Selama perkuliahan, penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah bergabung dalam organisasi sebagai staf departemen kominfo HMDM 2015/2016.