

**PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN FLUIDA TERHADAP
KINERJA *THERMOELECTRIC COOLER* (TEC) SEBAGAI
*REFRIGERATOR***

SKRIPSI

OLEH:

**DIMAS J.L TOBING
218130037**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/8/26

Access From (repository.uma.ac.id)10/8/26

HALAMAN JUDUL

PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN FLUIDA TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC COOLER* (TEC) SEBAGAI *REFRIGERATOR*

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

OLEH:

DIMAS J.L TOBING
218130037

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

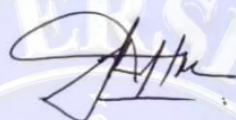
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Proposal : Pengaruh Variasi Laju Aliran Fluida Terhadap Kinerja
Thermoelectric Cooler (TEC) Sebagai Refrigerator
Nama Mahasiswa : Dimas J.L Tobing
NIM : 218130037
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



Indra Hermawan, ST., MT
Pembimbing


Dr. Eng. Supriatno, ST., MT
Dekan
Dr. Iswandi, ST., MT
Ka. Prodi

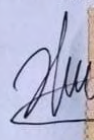
Tanggal Lulus: 18 Desember 2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana dan merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 22 Oktober 2024



Dimas J.L Tobing
NPM: 218130037

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI

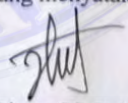
Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan
dibawah ini:

Nama : Dimas J.L Tobing
NPM : 218130037
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada
Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive
Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: "PENGARUH
VARIASI LAJU ALIRAN FLUIDA TERHADAP KINERJA
THERMOELECTRIC COOLER SEBAGAI REFRIGERATOR "

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti
Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih
media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat,
dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan
nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian
pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Dibuat di: Universitas Medan Area
Pada Tanggal : 25 Mei 2026
Yang menyatakan :


(Dimas J.L Tobing)
NPM: 218130034

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengaruh variasi laju aliran fluida pendingin (*coolant*) terhadap kinerja *Thermoelectric Cooler* (TEC) sebagai sistem pendingin. TEC dipilih karena ramah lingkungan, tidak menggunakan *refrigeran* kimia, berdesain ringkas, dan minim perawatan, namun kinerjanya sangat dipengaruhi efektivitas pembuangan panas. Optimasi laju aliran fluida menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi energi dan stabilitas sistem. Pengujian dilakukan secara eksperimen menggunakan modul TEC-12706, sistem *water block*, pompa, *power supply*, *flowmeter*, dan *cooler box* berinsulasi. Tiga variasi laju aliran diuji: 0,002 l/s (rendah), 0,005 l/s (sedang), dan 0,008 l/s (tinggi), dengan pengukuran suhu, konsumsi daya, energi per volume, dan *Coefficient of Performance* (COP) pada interval waktu 10, 30, dan 60 menit. Analisis menggunakan ANOVA menunjukkan pengaruh signifikan laju aliran terhadap kinerja TEC ($p < 0,05$). Hasil penelitian menunjukkan laju aliran rendah menghasilkan perbedaan suhu (ΔT) tertinggi 21,7 K, namun konsumsi energi lebih besar (0,01 kWh/l). Laju aliran tinggi memberikan COP tertinggi 0,337 dan konsumsi energi terendah 0,0025 kWh/l, menjadikannya konfigurasi paling efisien untuk penggunaan berkelanjutan. Kesimpulannya, laju aliran tinggi memberikan keseimbangan terbaik antara pendinginan, efisiensi energi, dan stabilitas sistem. Penelitian ini dapat menjadi acuan pengembangan sistem pendingin berbasis TEC yang hemat energi dan ramah lingkungan untuk aplikasi rumah tangga maupun industri.

Kata kunci: Thermoelectric Cooler (TEC), laju aliran fluida, pendinginan, konsumsi energi, COP, ANOVA.

ABSTRACT

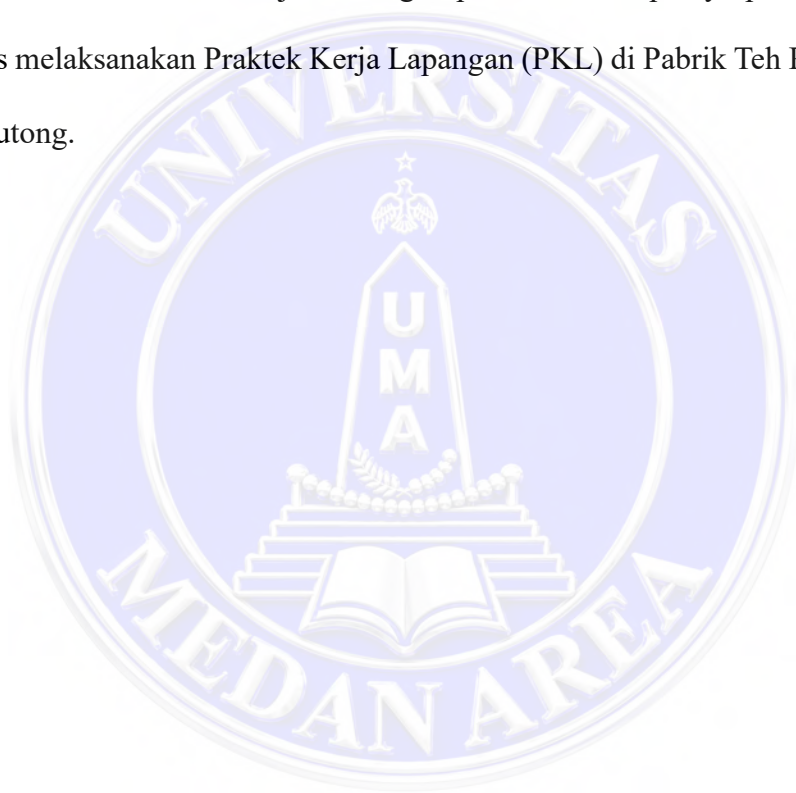
This study investigates the effect of coolant flow rate variations on the performance of a Thermoelectric Cooler (TEC) used as a refrigeration system. TECs are chosen as an environmentally friendly alternative to conventional vapor-compression systems because they operate without chemical refrigerants, are compact, and require minimal maintenance. However, their performance strongly depends on heat dissipation, making coolant flow rate optimization essential for energy efficiency and system stability. An experimental setup was developed using a TEC-12706 module, water block cooling system, pump, power supply, flowmeter, and insulated cooler box. Three coolant flow rates—0.002 l/s (low), 0.005 l/s (medium), and 0.008 l/s (high)—were tested over intervals of 10, 30, and 60 minutes. Key parameters measured included temperature difference (ΔT) between hot and cold sides, power consumption, energy per cooling volume, and Coefficient of Performance (COP). ANOVA analysis confirmed a significant effect of flow rate on TEC performance ($p < 0.05$). Results showed that the low flow rate achieved the highest ΔT of 21.7 K but consumed more energy (0.01 kWh/l), while the high flow rate provided the best balance with a COP of 0.337 and lowest energy consumption (0.0025 kWh/l). In conclusion, a higher coolant flow rate offers the most efficient and stable operation, making it suitable for sustainable TEC-based cooling systems. These findings serve as a reference for designing energy-efficient, eco-friendly refrigeration for household and industrial applications.

Keywords: Thermoelectric Cooler (TEC), coolant flow rate, refrigeration, energy consumption, COP, ANOVA.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan, pada tanggal 29 Juli 2003 dari ayah Ronald. S Tobing dan Ibunda Hotmaida Sitorus . Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara.

Pada tahun 2021 penulis lulus dari SMA SPK Cinta Budaya National Plus CHONG WEN dan terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area. Sejalan dengan perkuliahan, tepatnya pada tahun 2021. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Pabrik Teh PTPN IV Unit Bah Butong.



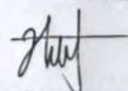
KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan karya tulis ilmiah (skripsi) dari tugas akhir, skripsi merupakan persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana di Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area.

Dalam penulisan karya tulis ilmiah (skripsi) ini, penulis mendapatkan bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc. Selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng. Supriatno, ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Iswandi, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area
4. Bapak Indra Hermawan, ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing Skripsi
5. Orang tua penulis (Ayahanda Ronald S Lbn Tobing dan Ibunda Hotmaida Sitorus) yang dengan begitu tulus memberikan semangat, dorongan dan doa kepada Penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
6. Sesama teman-teman mahasiswa Teknik mesin Universitas Medan Area.

Penulis



Dimas J.L Tobing
218130037

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Hipotesis Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Pendinginan	5
2.2 Termoelektrik.....	6
2.3 Efek Termoelektrik.....	7
2.3.1 Efek <i>Seebeck</i>	7
2.3.2 Efek <i>Peltier</i>	9
2.3.3 Efek <i>Thomson</i>	10
2.4 <i>Thermoelectric Cooler</i>	11
2.5 Perpindahan Panas.....	12

2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi.....	12
2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi.....	14
2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi	15
2.6 Heatsink.....	17
2.7 Coefficient Of Performance (COP)	18
2.8 Laju Aliran Fluida	19
2.8.1 Aliran Laminar	19
2.8.2 Aliran Transisi.....	20
2.8.3 Aliran Turbulen	20
2.8.4 Variasi Laju Aliran Fluida.....	21
2.8.5 Pengaruh Fluida pada pendinginan.....	21
2.9 ANOVA(<i>Analysis Of Variance</i>)	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Tempat dan Penelitian	23
3.2 Bahan dan Alat	23
3.2.1 Alat.....	23
3.2.2 Bahan	28
3.3 Metodologi Penelitan	34
3.4 Populasi dan Sampel	34
3.5 Prosedur Kerja.....	35
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Hasil Pengujian.....	37
4.2 Pembahasan	38
4.2.1 Terhadap perbedaan suhu heatsink (ΔT) Terhadap kinerja <i>Thermoelectric Cooler (TEC)</i>	38
4.2.2 Terhadap Konsumsi Energi pada <i>Thermoelectric Cooler (TEC)</i>	41
4.2.3 Pengaruh <i>Coefficient Of Performance</i> Terhadap <i>ThermoelectricCooler</i>	43
4.2.4 Penentuan laju aliran fluida yang paling optimal	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	52

DAFTAR PUSTAKA	54
----------------------	----



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Termoelektrik	7
Gambar 2. 2 Efek <i>Seebeck</i>	8
Gambar 2. 3 Efek <i>Peltier</i>	10
Gambar 2. 4 Efek <i>Thomson</i>	11
Gambar 2. 5 <i>Thermoelectric Cooler</i>	12
Gambar 2. 6 Perpindahan Panas Konduksi	14
Gambar 2. 7 Perpindahan Panas Konveksi	15
Gambar 2. 8 Perpindahan Panas Radiasi	16
Gambar 2. 9 <i>Heat Sink</i>	17
Gambar 2. 10 Aliran Laminar	20
Gambar 2. 11 Aliran Transisi	20
Gambar 2. 12 Aliran Turbulen.....	21
Gambar 3. 1 <i>Thermocouple Data Logger</i>	24
Gambar 3. 2 Laptop.....	25
Gambar 3. 3 Gelas Ukur.....	26
Gambar 3. 4 <i>Stopwatch</i>	26
Gambar 3. 5 <i>WattMeter</i>	27
Gambar 3. 6 <i>Water Block</i>	27
Gambar 3. 7 <i>Thermoelectric Cooler</i>	28
Gambar 3. 8 <i>Cooler Box</i>	29
Gambar 3. 9 Selang Transparan	30
Gambar 3. 10 Pompa Fluida.....	31
Gambar 3. 11 <i>Power Supply</i>	32
Gambar 3. 12 a. Kipas dalam dan b. Kipas Luar.....	33
Gambar 3. 13 <i>Heatsink</i>	34
Gambar 3. 14 Diagram alir penelitian	36
Gambar 4. 1 Pengujian Alat dan Data	38
Gambar 4. 2 Grafik pengaruh perbedaan suhu terhadap kinerja <i>Thermoelectric Cooler</i> (TEC) ...	40
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan nilai <i>P-Value</i> untuk setiap variasi laju aliran fluida.	49
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan nilai F hitung dengan F kritis untuk setiap variasi laju aliran fluida.	50

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 jadwal penelitian	23
Tabel 3. 2 Spesifikasi Thermocouple data logger	24
Tabel 3. 3 Spesifikasi bagian peltier TEC-12706.....	28
Tabel 3. 4 Spesifikasi kinerja peltier TEC-12706	29
Tabel 3. 5 Spesifikasi Kotak Pendingin.....	30
Tabel 3. 6 Spesifikasi Pompa fluida	31
Tabel 3. 7 Spesifikasi Power Supply	32
Tabel 3. 8 Spesifikasi kipas.....	33
Tabel 3. 9 Populasi dan sampel	35
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian	37
Tabel 4. 2 Pengaruh perbedaan suhu (ΔT) Terhadap kinerja Thermoelectric Cooler (TEC)	38
Tabel 4. 3 Pengaruh Konsumsi Energi pada Thermoelectric Cooler (TEC)	41
Tabel 4.4 Pengaruh Coefficient Of Performance Terhadap Thermoelectric Cooler(TEC)	44
Tabel 4. 5 Tabel Anova Single factor laju aliran 0,008 l/s	46
Tabel 4. 6 Tabel Anova Single factor laju aliran 0,005 l/s	46
Tabel 4. 7 Tabel Anova Single factor laju aliran 0,002 l/s	47

DAFTAR NOTASI

T	= Suhu umum ($^{\circ}\text{C}$ atau K)
T_h	= Suhu sisi panas (hot side) Thermoelectric Cooler (TEC) (K)
T_c	= Suhu sisi dingin (cold side) TEC (K)
ΔT	= Perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin ($T_h - T_c$) (K)
Q	= Kalor atau panas yang dipindahkan (J atau W)
Q_c	= Kalor yang diserap pada sisi dingin TEC (W)
E	= Energi listrik yang digunakan (kWh atau J)
E_v	= Konsumsi energi per volume fluida (kWh/L)
V	= Tegangan listrik (V)
I	= Arus listrik (A)
R	= Hambatan listrik modul TEC (Ω)
P	= Daya listrik masukan (W)
α	= Koefisien Seebeck (V/K)
SS	= Sum of Squares atau jumlah kuadrat (-)
MS	= Mean Square atau kuadrat rata-rata (-)
F	= Nilai F-hitung (-)
p-value	= Probabilitas signifikansi (-)
df	= Degree of Freedom atau derajat kebebasan (-)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Termoelektrik merupakan salah satu alternatif teknologi pendingin selain kompresi uap yang menggunakan sebuah refrigeran. Bila pada pendingin kompresi uap terjadi mekanisme aliran fluida dan perubahan siklus, lain halnya dengan pendingin termoelektrik yang langsung mengonversi arus listrik menjadi perbedaan temperatur. Karena tidak menggunakan refrigeran dan aliran fluida, pendingin termoelektrik lebih ramah lingkungan, desainnya lebih sederhana dan perawatannya lebih mudah dengan umur pakai yang cukup lama.(Gemilang, F,2023)

Pada saat ini kotak penyimpanan masih menggunakan cara yang konvensional menggunakan es batu yang bertindak untuk sebagai pengawet makanan. Alasan menggunakan es batu dikarenakan harga yang relatif lebih murah. Namun es batu dapat mengalami proses perubahan wujud dari padat menjadi cair karena adanya perubahan suhu yang menyebabkan es mencair. Ketika es batu mencair dapat mempengaruhi kualitas makanan yang disimpan. Terjadinya perubahan suhu akhir dapat dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu jumlah es batu yang digunakan, teknik pendinginan makanan, banyaknya makanan, dan ukuran wadah yang digunakan (Agus ,Y, 2017).

Dalam beberapa dekade terakhir, isu lingkungan dan efisiensi energi menjadi perhatian utama dalam berbagai sektor teknologi, terutama dalam pengembangan teknologi refrigerasi. Sistem pendinginan konvensional yang menggunakan refrigeran berbasis senyawa kimia seperti *CFC*

(*Chlorofluorocarbons*) dan *HCFC* (*Hydrochlorofluorocarbons*) diketahui berkontribusi terhadap kerusakan lapisan ozon serta peningkatan emisi gas rumah kaca yang memperparah perubahan iklim. Oleh karena itu, muncul kebutuhan mendesak untuk mengembangkan teknologi refrigerasi yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi.

Salah satu aspek penting dalam meningkatkan kinerja *Thermoelectric Cooler (TEC)* adalah penggunaan fluida pendingin yang tepat untuk membantu memindahkan panas dari sistem. Jenis fluida yang digunakan, seperti udara alami, air, dan coolant (cairan pendingin), memiliki perbedaan signifikan dalam hal kapasitas perpindahan panasnya. Selain jenis fluida, laju aliran fluida juga merupakan faktor kritis dalam efisiensi pendinginan. Laju aliran yang lebih tinggi memungkinkan perpindahan panas yang lebih cepat, tetapi juga membutuhkan lebih banyak energi untuk menjaga fluida bergerak dengan cepat. Sebaliknya, laju aliran yang terlalu rendah mungkin tidak cukup untuk menghilangkan panas secara efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi laju aliran fluida terhadap kinerja *Thermoelectric Cooler (TEC)* sebagai refrigerator. Dengan mengidentifikasi laju aliran yang paling signifikan, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada peningkatan efisiensi TEC dalam aplikasi refrigerasi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana variasi laju aliran coolant terhadap kinerja pendinginan *Thermoelectric Cooler (TEC)*?
2. Bagaimana pengaruh laju aliran fluida terhadap perbedaan suhu, konsumsi energi per volume dan COP pada sistem TEC?
3. Jenis laju aliran mana yang memberikan efisiensi kinerja TEC yang paling signifikan untuk aplikasi refrigerator?

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh variasi laju aliran fluida (coolant) terhadap kinerja pendinginan *Thermoelectric Cooler (TEC)*.
2. Menganalisis perbedaan suhu, konsumsi energi per volume dan COP pada berbagai laju aliran fluida yang berbeda.
3. Menentukan laju aliran fluida yang paling signifikan. untuk meningkatkan efisiensi kinerja TEC sebagai *Refrigerator*.

1.4 Hipotesis Penelitian

Pada laju aliran fluida yang lebih tinggi, suhu bagian dingin TEC akan lebih rendah dibandingkan dengan laju aliran yang lebih rendah, menunjukkan peningkatan efektivitas sistem pendinginan.. Dan laju aliran fluida yang terlalu rendah akan mengakibatkan penurunan kinerja TEC karena peningkatan resistensi termal, sedangkan laju aliran yang terlalu tinggi dapat menyebabkan turbulensi yang merugikan. Contoh laju aliran yang digunakan adalah 0.002 l/s adalah laju aliran rendah, 0.005 l/s laju aliran sedang, 0.008 l/s adalah laju aliran tinggi.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian diharapkan bisa dijadikan rujukan dalam memahami bagaimana variasi laju aliran fluida memengaruhi kinerja *TEC* (*Thermoelectric Cooler*) dapat membantu dalam merancang sistem pendinginan yang lebih efisien dan efektif, mengoptimalkan kinerja pendinginan dan konsumsi energi. Penelitian ini juga bermanfaat bagi pengguna dalam pengurangan penggunaan energi dan pengurangan biaya operasional.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendinginan

Teknik pendingin merupakan bidang teknik yang memusatkan perhatian pada perancangan, pengembangan, dan penerapan sistem yang bertujuan untuk menurunkan atau mengatur suhu suatu objek atau lingkungan agar tetap pada level yang diinginkan. Bidang ini memiliki peranan penting dalam berbagai sektor industri dan aplikasi, termasuk manufaktur, teknologi, serta sistem pendinginan untuk perangkat elektronik, kendaraan, dan perangkat rumah tangga seperti AC (pendingin udara).

Sistem pendinginan adalah suatu sistem yang berfungsi menjaga agar temperatur dalam kondisi ideal. Sistem pendinginan juga disebut dengan sistem refrigrasi. Refrigrasi adalah proses pengambilan kalor dari ruang atau benda untuk menurunkan temperaturnya. Kalor adalah salah satu bentuk dari energi, sehingga mengambil kalor suatu benda sama dengan mengambil sebagian energi dari molekul-molekulnya. metode pengkondisian temperatur ruangan agar tetap berada dibawah temperatur lingkungan adalah metode dari refrigrasi, sehingga metode refrigrasi sama dengan metode pendinginan.

Refrigrasi adalah suatu penggunaan yang luas dari termodinamika. Refrigrasi adalah produksi dan pemeliharaan temperatur dari suatu benda atau ruangan pada tingkat yang lebih rendah dari pada temperatur lingkungan sekitarnya dengan cara penyerapan kalor dari suatu benda atau ruangan tersebut. Refrigrasi

dapat dikatakan juga dengan proses pemindahan kalor dari suatu benda atau ruangan ke suatu benda atau ruangan lainnya (Ibny Rafiq,M.2021).

2.2 Termoelektrik

Termoelektrik pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan berkebangsaan Jerman bernama Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821. Dalam penelitiannya, Seebeck melakukan percobaan dengan menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian, dimana salah satu sisi logam tersebut dipanaskan dan sisi yang lain didinginkan. Percobaan tersebut menghasilkan perbedaan suhu dan menyebabkan adanya aliran listrik. Fenomena ini dikenal dengan nama Efek Seebeck, yang kemudian digunakan sebagai prinsip suhu dengan termokopel. Selanjutnya pada tahun 1834 ilmuwan bernama Jean Charles Athanase Peltier, melakukan penelitian tentang efek seebeck dan menemukan fenomena kebalikannya. Arus listrik searah dialirkan pada suatu rangkaian tertutup yang terdiri dari sambungan dua material logam. Pada sambungan ini salah satu sisi melepas panas sedangkan sisi yang lain menyerap panas, dan saling berbalik bila arah arus dibalik.. Fenomena ini dikenal sebagai efek peltier. Pada tahun 1854 William Thomson melakukan penelitian tentang efek seebeck dan efek peltier dengan memberikan penjelasan lebih lengkap dan menggambarkan hubungan timbal balik keduanya (Selviana,W.2017).

Termoelektrik merupakan suatu kejadian konversi energi yang mana perbedaan temperatur berubah menjadi energi listrik dan sebaliknya. Fenomena atau kejadian ini pula sekarang telah dikembangkan menjadi suatu modul yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau perangkat pendingin atau pemanas.

Modul termoelektrik berbentuk sebuah keping kecil persegi yang memiliki ukuran dan ketebalan tertentu (Triyono,S,).



Gambar 2. 1 Termoelektrik

2.3 Efek Termoelektrik

Efek termoelektrik adalah fenomena fisika yang terjadi ketika perbedaan suhu menciptakan perbedaan tegangan listrik, atau sebaliknya, ketika perbedaan tegangan listrik menyebabkan perbedaan suhu. Efek ini memiliki dua fenomena utama yang sering dibahas dalam konteks termoelektrik, yaitu Efek *Seebeck*, Efek *Peltier* dan Efek *Thomson*, yang keduanya terkait dengan konversi energi antara suhu dan listrik.

2.3.1 Efek Seebeck

Efek *seebeck* merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda material kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambungan ini, maka akan menimbulkan aliran arus listrik. prinsip inilah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (Ibny Rafiq,M.2021)

Efek *Seebeck* terjadi ketika 2 logam konduktor yang berbeda disatukan pada salah-satu ujungnya ujungnya kemudian diberikan stimulus panas, maka pada

ujung yang lain akan menghasilkan beda potensial. Efek Seebeck (α_{AB}) dapat dihitung dengan V (tegangan listrik), dibagi dengan nilai resultan nilai T_A (suhu mutlak logam A) dan T_B (suhu mutlak logam B) (Aziz,R.2017).

$$\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_b = \frac{V}{T_A - T_B} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

α_{AB} = Efek *Seebeck*

V = Tegangan Listrik

T_A = Suhu Untuk Logam A

T_B = Suhu Logam B



Gambar 2. 2 Efek Seebeck

Setiap bahan memiliki koefisien seebeck yang berbedabeda. Semakin besar koefisien seebeck ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan (Ibny Rafiq,M.2021)

2.3.2 Efek *Peltier*

Kebalikan dari efek *seebeck*, yaitu jika dua logam yang berbeda bahan disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor. Prinsip inilah yang disebut dengan efek peltier, digunakan sebagai pemanas ataupun pendingin. Jika dibandingkan dengan teknologi refrigrasi kompresi uap, termoelektrik memiliki kelebihan antara lain: pemanas atau pendingin dapat dengan mudah diatur dengan menyesuaikan arah arusnya, sangat ringkas, tidak berisik, tidak butuh perawatan khusus, tidak butuh refrigeran (freon), dan tidak ada getaran. Tetapi termoelektrik masih memiliki kekurangan yaitu performanya masih rendah (Ibny Rafiq,M.2021).

J. Peltier pada tahun 1834 mengenalkan efek Peltier tentang perjalanan arus listrik melalui termokopel menghasilkan pemanasan kecil atau efek pendinginan tergantung pada arahnya. Efek Peltier (π_{AB}) dapat dihitung menggunakan laju aliran kalor (q) dibagi dengan arus listrik) (Aziz,R.2017).

$$\pi_{AB} = \frac{q}{I} \dots\dots\dots (2.2)$$

dari persamaan Efek Peltier (π_{AB}) pada persamaan 2.. dapat ditarik hubungan bahwa suhu logam (T) dapat diperoleh dari efek Seebeck (α_{AB}) dan efek Peltier (π_{AB})

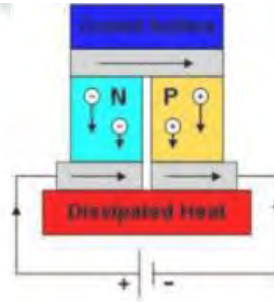
$$T = \frac{\pi_{AB}}{\alpha_{AB}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

π_{AB} = Efek *Peltier*

q = laju aliran kalor

I = Kuat arus Listrik



Gambar 2. 3 Efek *Peltier*

2.3.3 Efek *Thomson*

William Thomson fisikawan asal Inggris Raya menyelidiki lebih lanjut termoelektrisitas dan menemukan efek ketiga dari termoelektrik, efek Thomson. Sebuah konduktor (kecuali superkonduktor) yang dialiri arus listrik dan perbedaan temperaturnya terjaga dapat melepaskan atau menyerap panas di sepanjang konduktor tersebut. Atau bisa dikatakan bahwa terdapat penyerapan atau pelepasan panas bolak-balik dalam konduktor homogen yang terkena perbedaan panas dan perbedaan arus listrik secara simultan (Busthomy.,Ley.,P.2020).

Setiap konduktor pembawa arus kecuali superkonduktor dengan perbedaan temperatur antara dua titik baik menyerap atau melepaskan panas, tergantung pada bahan. Jika kerapatan arus (J) dilewatkan melalui konduktor homogen, produksi panas (q) tiap satuan volume adalah

$$q = \rho J^2 - \mu J \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.4)$$

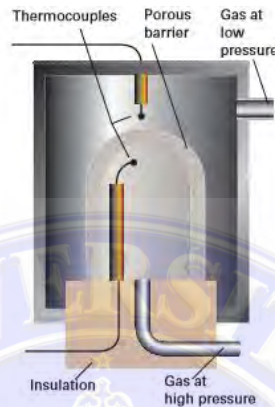
Keterangan :

ρ = Resistivitas dalam

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien Temperatur

μ = Koefisien *Thomson*

J = *Heating*



Gambar 2. 4 Efek *Thomson*

2.4 *Thermoelectric Cooler*

Thermoelectric cooler merupakan salah satu alat pendingin yang sederhana. Mekanisme pendinginan yang bekerja pada TEC adalah dengan mengkonversi energi listrik menjadi energi panas. Maka akan terdapat perbedaan temperatur pada sisi TEC. Beda potensial pada TEC sangat mempengaruhi waktu perubahan temperatur yang dihasilkan. TEC dapat membuang panas dibagian sisi panasnya, sedangkan sisi lainnya akan menghasilkan efek pendinginan karena penyerapan panas.

Elemen utama TEC merupakan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dihubungkan dalam suatu rangkaian tertutup yang dilapisi kramik, dari perbedaan temperatur pada semikonduktor tersebut akan menyebabkan elektron berpindah dari sisi panas menuju sisi dingin. Apabila pada logam semikonduktor berlaku efek

seeback dan efek peltier, maka elektron pada sisi panas semikonduktor akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin (Sucipta.M.,I.,dkk. 2022).



Gambar 2. 5 *Thermoelectric Cooler*

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi yang terjadi karena perbedaan suhu antara dua benda atau material. Nama untuk energi yang berpindah adalah panas atau kalor. Dalam sistem pendingin termoelektrik, ada dua cara perpindahan panas: konduksi dan konveksi. Panas konduksi berpindah dari heat sink sisi panas peltier ke heat sink sisi dingin peltier, dan panas konveksi berpindah dari udara yang melewati heat sink ke udara dalam ruangan atau alat uji. Perpindahan panas terdiri dari 3 yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panasnya tetap.

Perpindahan panas secara konduksi tidak hanya terjadi pada padatan saja tetapi bisa juga terjadi pada cairan ataupun gas, hanya saja konduktivitas terbesar ada pada padatan. Jadi,

Konduktivitas padatan > konduktivitas cairan dan gas

Jika media perpindahan panas konduksi berupa gas, molekul molekul gas yang suhunya tinggi akan bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada molekul gas yang suhunya lebih rendah. Jika ada perbedaan suhu, molekul-molekul pada daerah yang suhunya tinggi akan memberikan panasnya kepada molekul yang suhunya lebih rendah pada saat terjadi tumbukan dengan molekul yang suhunya lebih rendah.

Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi sama dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul molekul pada cairan lebih pendek daripada jarak antara molekul molekul pada fase gas.

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konduksi adalah hukum Fourier. Hukum Fourier dinyatakan dengan

$$q_k = - \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.5)$$

Atau

$$\frac{q_k}{A} = k \left\{ - \frac{dT}{dx} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

T = suhu °C (°F)

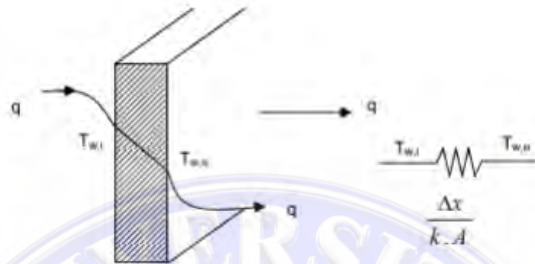
x = jarak/ tebal dinding, m(ft)

A = luas dinding (luas perpindahan panas), m² (ft²)

k = konduktivitas termal, $W/m \cdot ^\circ C$ ($Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F$) (konstanta proposionalitas)

q_k = laju perpindahan panas konduksi, Watt (Btu/h)

$\frac{q_k}{A}$ = laju perpindahan panas persatuan luas (*heat flux*) W/m^2 ($Btu/h \cdot ft^2$)



Gambar 2. 6 Perpindahan Panas Konduksi

2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas Dimana cairan atau gas yang suhunya tinggi, mengalir ketempat yang suhunya lebih rendah, memberikan panas pada permukaan yang suhunya lebih rendah.

Perpindahan terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, jadi perpindahan panas ini memerlukan media penghantar berupa fluida (cairan atau gas).

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara yaitu

1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*) adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.
2. Konveksi paksaan (*forced convection*) adalah perpindahan panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar.

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Newton. Hukum Newton dinyatakan dengan :

$$q_c = hcA(T_w - T_s) \dots\dots\dots (2.7)$$

Atau

$$\frac{q_c}{A} = hcA(T_w - T_s) \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

T = suhu $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)

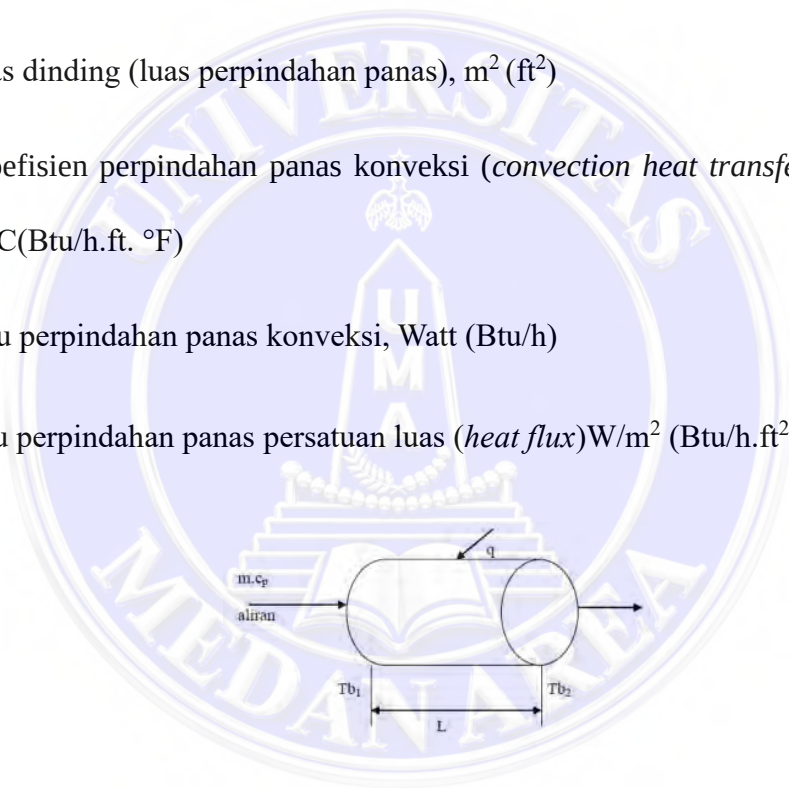
A = luas dinding (luas perpindahan panas), m^2 (ft^2)

hc = koefisien perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer coefficient*)

$\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ($\text{Btu/h.ft.}^{\circ}\text{F}$)

q_c = laju perpindahan panas konveksi, Watt (Btu/h)

$\frac{q_c}{A}$ = laju perpindahan panas persatuan luas (*heat flux*) W/m^2 (Btu/h.ft^2)



Gambar 2. 7 Perpindahan Panas Konveksi

Pada beberapa kasus tertentu nilai hc dapat dijabarkan dengan cara analitik, tetapi pada umumnya hc diukur dengan mengadakan percobaan.

2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik.

Perpindahan panas radiasi berlangsung elektromagnetik dengan Panjang gelombang pada interval tertentu. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan panas dapat berlangsung dalam ruangan hampa udara.

Benda yang dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut radiator yang sempurna dan dikenal sebagai benda hitam (*black body*). Sedangkan benda yang tidak dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan benda abu-abu (*grey body*).

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Stefan Boltzman. Hukum Stefan-Boltzman dinyatakan dengan

$$q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \dots\dots\dots (2.9)$$

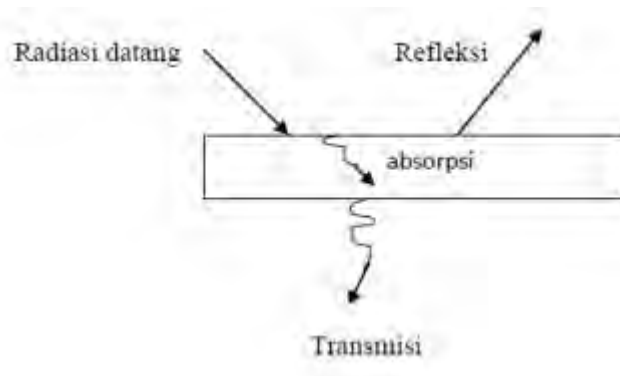
Dimana :

ε = Emisivitas

σ = suhu absolut benda, K(°R)

A = luas permukaan. m²(ft²)

q_r = laju perpindahan panas radiasi, watt (Btu/h)

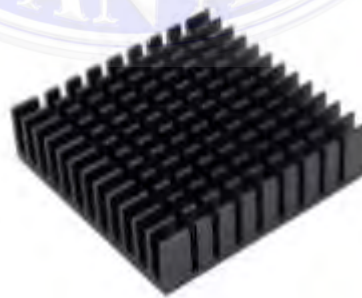


Gambar 2. 8 Perpindahan Panas Radiasi

2.6 *Heatsink*

Heat Sink Merupakan komponen pemindah panas pasif yang bekerja memindahkan panas dari perangkat elektrik maupun mekanik ke media lain seperti udara dan cairan coolant. Dikatakan pasif karena tidak ada komponen atau medium yang bergerak didalam heat sink. Pada komputer, heat sink digunakan untuk mendinginkan *central processing unit* (CPU) atau pada prosesor pengolah grafis (GPU). Pada peralatan mekanik, heat sink digunakan pada TEC untuk pendingin ruangan portable atau perangkat pendingin (cool case) pada mobil.

Sebagian besar *heat sink* terbuat dari bahan paduan aluminium. Aluminium yang digunakan adalah seri 1050A yang memiliki nilai konduktifitas thermal 229 W/m.K. Paduan aluminium lain yang digunakan adalah aluminium seri 6060, 6061, dan 6063 yang memiliki nilai konduktifitas termal antara 166 W/m.K hingga 201 W/m.K. Ada juga heat sink yang terbuat dari bahan tembaga hanya saja tidak umum digunakan. Aluminium lebih umum digunakan sebagai bahan dari heat sink karena selain memiliki nilai konduktifitas yang baik, juga memiliki densitas yang rendah sehingga massanya lebih ringan.



Gambar 2. 9 *Heat Sink*

(Sumber Ibrahim,B,I,F.2017)

Sebuah *heat sink* didesain dengan memaksimalkan luas permukaan yang kontak dengan sumber atau perangkat dan juga dengan medium yang disalurkan panas dari perangkat tersebut. Bentuk sirip, celah antar sirip, dan juga panjang dari sirip merupakan salah satu desain yang diperhitungkan dalam memperbaiki kinerja dari heat sink. Dalam penggunaannya, *heat sink* harus diolesi dengan thermal grease pada bagian yang menempel pada sisi perangkat. *Thermal grease* digunakan sebagai katalis atau media untuk mempercepat penyaluran panas dari perangkat ke *heat sink*. Adanya thermal grease juga berfungsi mengisi celah udara yang mungkin terjebak saat menempelkan heat sink pada komponen.

Sirip pada heat sink adalah bentuk yang memanjang dari dasar sebuah heat sink yang memiliki susunan pola tertentu. Beberapa susunan sirip yang digunakan adalah pin, lurus, dan mengembang (*flare*). Susunan pin dapat berbentuk silindris dan persegi yang memiliki jarak tertentu. Susunan lurus memiliki bentuk sirip persegi yang memanjang dan susunan flare memiliki bentuk mengembang (Ibrahim,B,I,F.2017).

2.7 Coefficient Of Performance (COP)

Coefficient Of Performance (COP) atau koefisien kinerja adalah perbandingan antara kalor yang dihasilkan oleh sistem refrigerasi dengan energi yang disuplai berupa masukan arus listrik. Nilai ini dapat menunjukkan tingkat kualitas dari suatu sistem refrigerasi. Nilai COP yang tinggi menunjukkan kualitas sistem refrigerasi yang baik, sebaliknya nilai COP yang rendah menunjukkan sistem refrigerasi yang kurang baik. Untuk mendapatkan nilai COP dari suatu sistem refrigerasi menggunakan modul termoelektrik, dapat diperoleh dengan persamaan (Alfiansyah,I.2021) :

$$COP = \frac{Q_c}{P} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$COP = \frac{N(2 \alpha I T_c - \frac{1}{2} I^2 R - k (T_h - T_c))}{N(2 \alpha I (T_h - T_c)) + I^2 R} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

COP = *Coefficient Of Performance*

Q = Kalor yang diserap (W)

N = Jumlah modul termoelektrik yang digunakan

P = Energi yang diserap (W)

k = Konduktivitas termal termoelektrik (W/m°C)

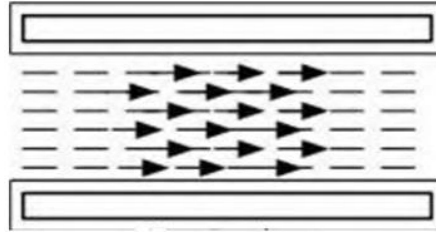
2.8 Laju Aliran Fluida

Aliran fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan. Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan padanya gaya yang sangat besar. Laju aliran fluida pada sebuah penampang terbagi dalam tiga jenis antara lain sebagai berikut.

2.8.1 Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara

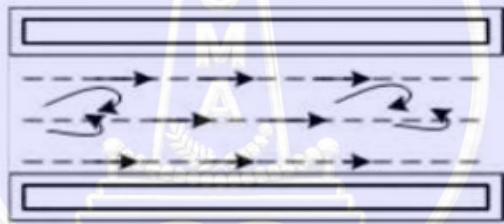
lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnnya kurang dari 2300 ($Re < 2300$).



Gambar 2. 10 Aliran Laminar

2.8.2 Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldsnnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$)



Gambar 2. 11 Aliran Transisi

2.8.3 Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Renoldsnnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).



Gambar 2. 12 Aliran Turbulen

2.8.4 Variasi Laju Aliran Fluida

Laju aliran fluida memengaruhi seberapa cepat fluida dapat memindahkan panas dari TEC. Pada laju aliran yang rendah, fluida mungkin tidak cukup untuk memindahkan panas secara efektif, sementara pada laju aliran yang terlalu tinggi, energi tambahan dibutuhkan untuk memompa fluida, yang dapat meningkatkan konsumsi energi tanpa memberikan peningkatan kinerja yang signifikan. Secara keseluruhan, variasi laju aliran fluida mempengaruhi efisiensi transfer panas dan distribusi suhu dalam sistem termoelektrik. Oleh karena itu, perancangan sistem termoelektrik memerlukan pengaturan aliran fluida yang optimal agar dapat mencapai konversi energi yang efisien.

2.8.5 Pengaruh Fluida pada pendinginan

Pengaruh fluida sangat penting Karena sifat termalnya memengaruhi seberapa cepat panas dapat dipindahkan dari TEC ke lingkungan sekitarnya, fluida sangat penting untuk sistem pendinginan. Perpindahan panas antara coolant. Coolant seperti ethylene glycol atau cairan pendingin otomotif memiliki kapasitas panas yang sangat tinggi dan digunakan dalam sistem pendinginan industri atau otomotif untuk meningkatkan perpindahan panas.

2.9 ANOVA(*Analysis Of Variance*)

Analisis Varian (ANOVA) merupakan metode statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata lebih dari dua kelompok data. ANOVA sering digunakan dalam penelitian eksperimen untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antar kelompok yang diuji. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi laju aliran terhadap efisiensi suatu sistem, misalnya dalam perpindahan panas atau aliran fluida dalam pipa. Studi ini memberikan pemahaman mengenai metode ANOVA, penerapan dalam studi laju aliran, serta hasil dan interpretasinya. Dalam berbagai sistem teknik, laju aliran merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi efisiensi dan performa sistem. Penelitian mengenai variasi laju aliran penting untuk memahami dampaknya terhadap parameter lain seperti perpindahan panas, efisiensi energi, dan stabilitas sistem.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat dan Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan Bengkel Bubut dan Las Sudarman Jl.Mangaan VIII Pasar III, Kel. Mabar Hilir, Kec. Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara. Dan jadwal penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1. sebagai berikut

Tabel 3. 1 jadwal penelitian

		Tahun 2024-2025																		
No	Nama Kegiatan	November			Desember S/d Januari				Febuari				Maret S/d November				Desember			
		2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pengajuan judul																			
2	Penulisan proposal																			
3	Seminar proposal																			
4	Proses penelitian																			
5	Pengolahan data																			
6	Penyelesaian laporan																			
7	Seminar hasil																			
8	Evaluasi dan persiapan sidang																			
9	Sidang sarjana																			

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Alat

a. *Thermokopel data logger*

Termokopel Data Logger adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur, mencatat, dan menyimpan data suhu dari termokopel dalam berbagai aplikasi. Termokopel data logger berfungsi untuk mengukur, mencatat, dan menyimpan data suhu untuk keperluan pengawasan atau analisis lebih lanjut.



Gambar 3. 1 *Thermocouple Data Logger*

Tabel 3. 2 *Spesifikasi Thermocouple data logger*

No.	Kategori	Keterangan
1.	Model	Lutron BTM-4208SD
2.	Tipe	K
3.	Jumlah chanel	12

b. Laptop

laptop merupakan alat yang sangat penting dalam berbagai tahap penelitian, mulai dari pengumpulan data hingga publikasi hasil penelitian. Fungsi portabilitasnya memungkinkan peneliti untuk bekerja secara fleksibel, baik di lapangan maupun di laboratorium.



Gambar 3. 2 Laptop

c. *ANOVA(Analysis Of Variance)*

ANOVA (Analysis of Variance) adalah sebuah teknik statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata antara dua atau lebih kelompok. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara rata-rata kelompok yang diuji, yang disebabkan oleh faktor tertentu atau perbedaan acak.

d. Gelas Ukur

Gelas ukur adalah alat laboratorium berbentuk silinder tegak yang dibuat dari kaca tahan panas (borosilikat seperti Pyrex) atau plastik transparan (misalnya polypropylene/PP). Pada bagian dindingnya terdapat skala ukur terkalibrasi dalam satuan mililiter (mL) atau liter (L), yang berfungsi untuk menentukan volume cairan secara kuantitatif dengan ketelitian sedang.



Gambar 3. 3 Gelas Ukur

e. *Stopwatch*

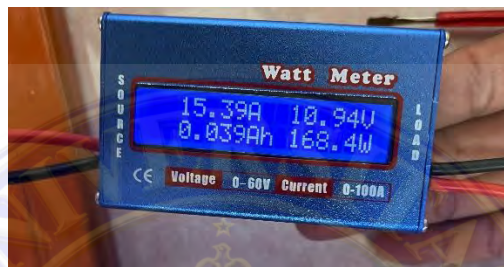
Stopwatch adalah alat yang digunakan untuk mengukur durasi waktu secara akurat dari suatu kegiatan atau kejadian, dimulai dari saat alat diaktifkan hingga dihentikan. Stopwatch umumnya digunakan untuk pengukuran waktu yang memerlukan tingkat presisi tinggi, sering kali dalam hitungan detik atau milidetik. Stopwatch sering digunakan dalam berbagai bidang, termasuk olahraga, pendidikan, penelitian, dan kegiatan sehari-hari. Fungsi utama stopwatch adalah untuk mengukur durasi waktu secara akurat dari awal hingga akhir suatu kegiatan.



Gambar 3. 4 *Stopwatch*

f. WattMeter

Fungsi Wattmeter adalah untuk mengukur daya listrik yang digunakan oleh suatu peralatan listrik atau rangkaian. Wattmeter digunakan untuk mengetahui berapa besar daya listrik yang dikonsumsi dalam satuan watt (W). Alat ini sangat penting dalam berbagai aplikasi, seperti analisis konsumsi daya pada perangkat elektronik, pengujian efisiensi energi, dan monitoring daya di jaringan listrik.



Gambar 3. 5 *WattMeter*

g. Water block

Water Block adalah komponen utama dalam sistem water cooling (pendinginan cairan) untuk komputer atau perangkat elektronik. Water block berfungsi untuk menyerap panas dari komponen yang menghasilkan suhu tinggi, seperti CPU, GPU, atau chipset motherboard, dan mentransfernya ke cairan pendingin yang mengalir melalui sistem.

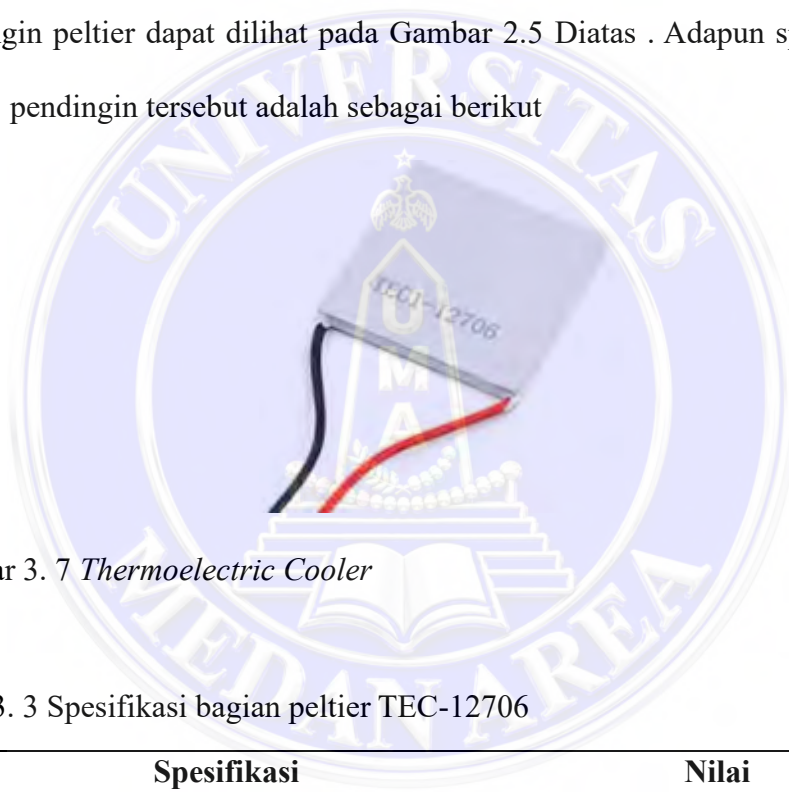


Gambar 3. 6 *Water Block*

3.2.2 Bahan

a. Peltier

Pendingin peltier merupakan alat yang digunakan mengubah energi listrik menjadi panas atau kalor dengan menggunakan efek termoelektik. Jenis efek yang digunakan adalah efek peltier. Komponen pendingin termoelektik hanya terdiri dari penyerap panas dan pembuang panas berperan sebagai pendingin. Pendingin termoelektik tidak memiliki kompresor, kondensor katup ekspansi dan evaporator. Pendingin peltier dapat dilihat pada Gambar 2.5 Diatas . Adapun spesifikasi dari peltier pendingin tersebut adalah sebagai berikut



Gambar 3. 7 *Thermoelectric Cooler*

Tabel 3. 3 Spesifikasi bagian peltier TEC-12706

No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Jumlah unit	4
2.	Model	TEC1-12706
3.	Dimensi	(40 x 40) mm
4.	Operasi tegangan dan arus	0-15,2 V dan 0-6 A
5.	Operasi suhu	(-30) -70 °C
6.	Konsumsi daya maksimal	60 Watt

Tabel 3. 4 Spesifikasi kinerja peltier TEC-12706

No.	Spesifikasi	25 °C	50 °C
1.	Q_{max} (watt)	50	57
2.	ΔT_{max} (°C)	66	75
3.	I_{max} (Ampere)	6,4	6,4
4.	V_{max} (Volt)	14,4	16,4
5.	Modul resistansi (Ohm)	1,98	2,30

b. Kotak Pendingin

Kotak Pendinginan (atau cooler box) adalah wadah yang dirancang untuk menjaga suhu agar tetap dingin, umumnya digunakan untuk menyimpan makanan, minuman, atau barang lainnya yang perlu dijaga pada suhu rendah agar tetap segar atau mencegah kerusakan akibat suhu tinggi. Kotak pendinginan ini dapat berfungsi mendinginkan barang lebih efektif dan lebih cepat dibandingkan dengan kotak pasif, dan dapat terus beroperasi selama ada sumber listrik (seperti menggunakan kabel listrik atau baterai portabel). Kotak pendingin dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 8 Cooler Box

Adapun spesifikasi dari kotak pendingin yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Spesifikasi Kotak Pendingin

No.	Kategori	Keterangan
1.	Dimensi	(24 x 30 x 50) cm
2.	Volume kotak pendingin	(18 x 26 x 36) cm
3.	Material dalam	Triplek
4.	Material luar	Polyurethane foam

c. Selang Transparan

Pada beberapa sistem pendinginan termoelektrik, terutama yang menggunakan cairan sebagai pendingin, selang berfungsi untuk mengalirkan cairan pendingin melalui elemen termoelektrik dan komponen lainnya untuk membawa panas yang diserap oleh elemen Peltier ke bagian yang lebih dingin. Selang transparan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:

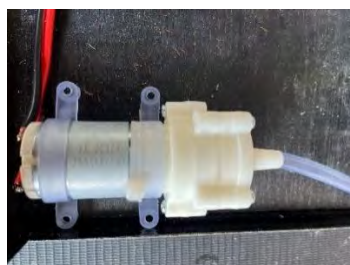


Gambar 3. 9 Selang Transparan

d. Pompa

Pompa digunakan untuk mengalirkan cairan pendingin (seperti air atau campuran cairan) melalui elemen termoelektrik dan heat sink. Pompa membantu

memastikan bahwa cairan pendingin mengalir dengan kecepatan yang cukup untuk memastikan pertukaran panas yang efektif antara elemen Peltier dan heat sink. Pompa yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 10 Pompa Fluida

Adapun spesifikasi dari pompa fluida digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

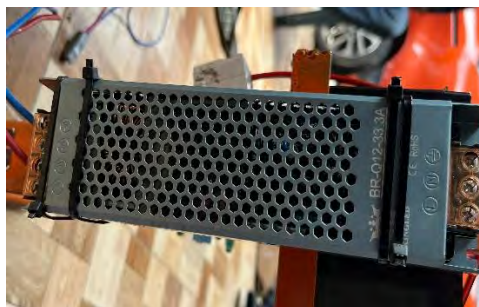
Tabel 3. 6 Spesifikasi Pompa fluida

No.	Kategori	Keterangan
1.	Jumlah Unit	2
2.	Dimensi	(92 x 46 x 35) mm
3.	Material	Plastic ABS
4.	<i>Input voltage</i>	DC 6 V – 12 V
5.	<i>Power consumption</i>	8,4 W
6.	<i>Max flow rate</i>	1,5 – 2 L/H

e. Power supply

Power Supply pada sistem pendingin berfungsi untuk menyediakan daya yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan perangkat elektronik atau sistem. Fungsi utamanya meliputi pengubahan sumber listrik, penstabilan tegangan, serta pengaturan arus agar perangkat berfungsi dengan aman dan efisien. Power supply

sangat penting dalam banyak aplikasi mulai dari perangkat elektronik kecil hingga sistem industri besar.



Gambar 3. 11 *Power Supply*

Adapun spesifikasi dari *power Supply* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 7 Spesifikasi *Power Supply*

No.	Kategori	Keterangan
1.	Dimensi	(20 x 5 x 4,5) cm
2.	<i>Input voltage</i>	AC 100 V & 245V
3.	<i>Output</i>	DC 12 V
4.	<i>Ampere</i>	33.3 A

f. Kipas

Elemen Peltier bekerja dengan menciptakan perbedaan suhu antara dua sisi, yaitu sisi dingin dan sisi panas. Sisi panas dari elemen Peltier akan menghasilkan panas yang perlu dibuang agar elemen tetap bekerja efisien. Kipas berfungsi untuk mengalirkan udara di sekitar heat sink (pendingin panas) yang terpasang di sisi panas elemen Peltier, membantu membuang panas ke udara sekitar. Kipas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut:



(a)

(b)

Gambar 3. 12 a. Kipas dalam dan b. Kipas Luar

Adapun spesifikasi dari kipas yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Spesifikasi kipas

No.	Kategori	Keterangan
1	Jumlah Unit	a). 4 b). 4
2.	Model	a). KLOP8025HS b). FAN4010DC
3.	Dimensi	a). (8 x 8 x 2,5) cm b). (4 x 4 x 2,5) cm
4.	Tegangan	a). 12 V b). 12 V
5.	Arus	a). 0.14 A b). 0.09 A

g. Heatsink

Heatsink berfungsi untuk menyerap, mendistribusikan, dan melepaskan panas dari komponen elektronik, menjaga suhu tetap stabil, serta menghindari overheating yang dapat merusak perangkat. Heatsink dapat berupa passive atau active dan digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari komputer, sistem pendinginan, power supply, hingga perangkat elektronik lainnya yang menghasilkan panas.



Gambar 3. 13 *Heatsink*

h. Fluida yang digunakan

Fluida yang digunakan untuk membawa panas dari sisi dingin ke panas ini berupa coolant. Komposisi dan sifat fluida sangat memengaruhi kinerja sistem termoelektrik

i. Kabel dan konektor

Kabel dan Konektor digunakan untuk menghubungkan TEC dan sumber daya listrik dan menghubungkan sensor atau alat lainnya.

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen faktorial di mana variabel bebasnya adalah jenis fluida pendingin (udara alami, air, coolant) dan laju aliran fluida (rendah, sedang, tinggi). Pengujian dilakukan dengan melakukan variasi laju aliran pada masing-masing fluida, lalu mengukur kinerja sistem TEC dengan parameter suhu, waktu pendinginan, dan konsumsi energi per volume.

3.4 Populasi dan Sampel

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data dengan cara mencatat data data yang diperlukan untuk melengkapi data dalam penyusunan tugas akhir.

Tabel 3. 9 Populasi dan sampel

laju aliran fluida	waktu pendinginan	suhu heatsink luar T_h	Suhu heatsink dalam T_c	ΔT $T_h - T_c$	Daya P	Konsumsi energi per volume E_v	COP
<i>l/s</i>	<i>min</i>	<i>(^{\circ}K)</i>	<i>(^{\circ}K)</i>	<i>(^{\circ}K)</i>	<i>Watt</i>	<i>kWh/l</i>	-
0.008	10	308.45	297.35	11.1	72	0.0025	0.383
	30	310.35	295.05	15.3	72	0.0025	0.335
	60	312.45	293.45	19	72	0.0025	0.293
0.005	10	310.55	298.75	11.8	72	0.004	0.381
	30	312.35	296.15	16.2	72	0.004	0.330
	60	314.45	294.45	20	72	0.004	0.287
0.002	10	313.25	299.95	13.3	72	0.01	0.371
	30	315.25	297.95	17.3	72	0.01	0.325
	60	317.35	295.65	21.7	72	0.01	0.275

3.5 Prosedur Kerja

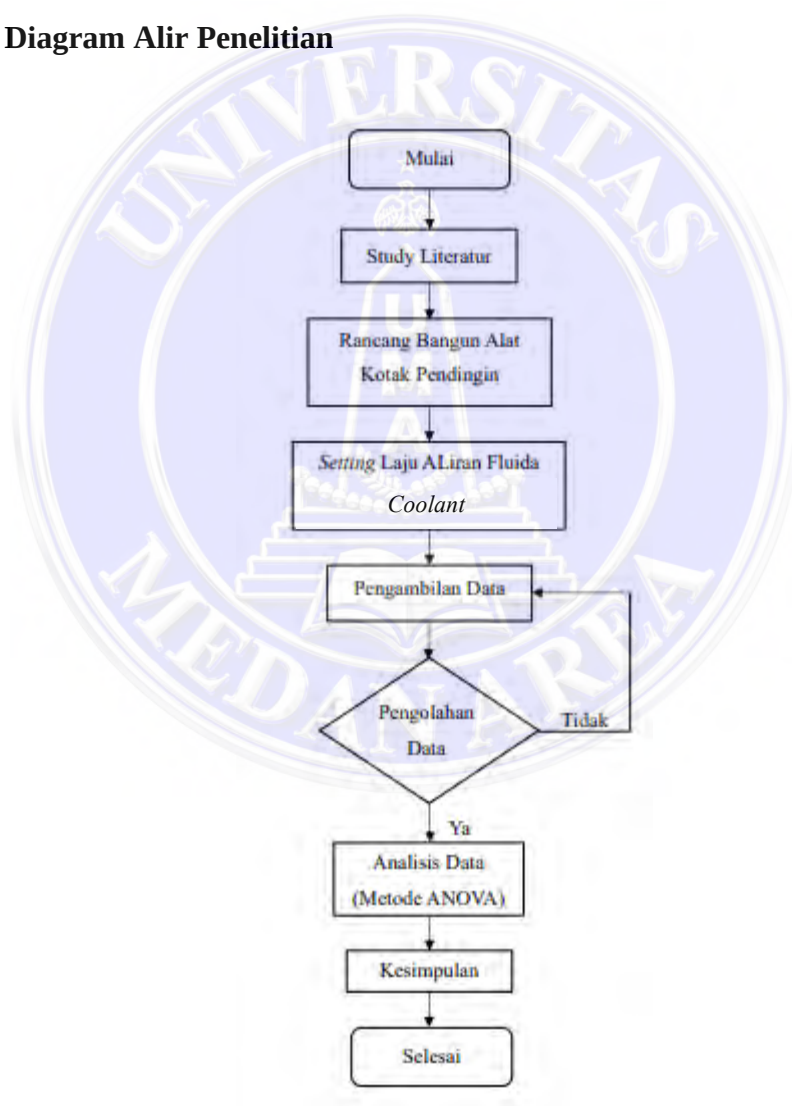
Prosedur kerja untuk penelitian dengan judul "**Pengaruh Laju Aliran Fluida pada Kinerja TEC (Thermoelectric Cooler) sebagai Refrigerator**" bertujuan untuk menguji bagaimana variasi laju aliran fluida pendingin mempengaruhi kinerja sistem pendinginan yang menggunakan modul termoelektrik (TEC).

Adapun Langkah Langkah kerja pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan, dan memastikan semua alat lengkap dan memeriksa semua alat sebelum memulai pengujian.
2. Tetapkan laju aliran yang digunakan misalnya 0.008,0.005,0.002l/s.
3. Kalibrasi flowmeter untuk memastikan pengukuran laju aliran akurat.
4. Pengoperasian alat penelitian yaitu dengan melakukan variasi laju aliran fluida terhadap kinerja *Thermoelectric Cooler*.

5. Mencatat data hasil penelitian yaitu mencatat hasil kinerja TEC, seperti koefisien performa (COP).
6. Melakukan analisis data dari hasil pengujian dengan laju aliran fluida *thermoelectric cooler* dengan menggunakan *Analysis of Variance (ANOVA)*.
7. Bandingkan hasil kinerja tec pada berbagai laju aliran fluida .
8. Membuat Kesimpulan dari hasil penelitian variasi laju aliran fluida pada *thermoelectric cooler* yang telah digunakan.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 14 Diagram alir penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis mengenai Pengaruh Variasi Laju Aliran Fluida terhadap Kinerja *Thermoelectric Cooler (TEC)* sebagai *Refrigerator*, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Variasi laju aliran fluida memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja pendinginan *Thermoelectric Cooler (TEC)*, dibuktikan dengan hasil uji ANOVA yang menunjukkan nilai $p\text{-value} < 0,05$ pada setiap variasi laju aliran.
2. Laju aliran rendah (0,002 l/s) menghasilkan perbedaan suhu (ΔT) tertinggi sebesar 21,7 K, namun berpotensi menimbulkan akumulasi panas pada sisi panas TEC. Laju aliran tinggi (0,008 l/s) memberikan hasil paling efisien pada parameter konsumsi energi per volume, yaitu sebesar 0,0025 kWh/l, sehingga lebih hemat energi dibandingkan laju aliran rendah. *Coefficient of Performance (COP)* terbaik diperoleh pada laju aliran tinggi (0,008 l/s) dengan nilai rata-rata sebesar 0,337.
3. Secara keseluruhan, laju aliran tinggi (0,008 l/s) merupakan variasi laju aliran yang paling signifikan, karena mampu memberikan keseimbangan terbaik antara ΔT , konsumsi energi, dan COP dalam meningkatkan efisiensi *Thermoelectric Cooler (TEC)*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menambahkan variasi jenis fluida pendingin (misalnya air murni, minyak pendingin, atau campuran coolant tertentu) agar hasil yang diperoleh lebih komprehensif.
2. Diperlukan pengembangan sistem kontrol otomatis pada laju aliran fluida, sehingga TEC dapat bekerja pada kondisi optimal secara real-time tanpa perlu penyesuaian manual.
3. Penelitian lebih lanjut sebaiknya mencakup uji jangka panjang untuk mengetahui daya tahan dan umur pakai TEC pada berbagai variasi laju aliran fluida.
4. Untuk aplikasi praktis, penggunaan laju aliran tinggi (0,008 l/s) lebih direkomendasikan karena memberikan efisiensi energi dan COP yang lebih baik meskipun ΔT yang dihasilkan tidak sebesar laju aliran rendah.
5. Penelitian mendatang dapat mengintegrasikan teknologi tambahan seperti *heat exchanger* atau *Phase Change Material (PCM)* untuk meningkatkan kapasitas pendinginan TEC sehingga dapat diaplikasikan lebih luas, baik pada industri maupun rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiansyah, I. (2021). *Studi eksperimental modulthermoelectrictec-12706 dan teg-27145 sebagai pendingin pengganti refrigeran.*
- Aziz, R., Tanwirul Afkar, M., Teknik Pendingin dan Tata Udara, J., Negeri Indramayu, P., Raya Lohbener Lama no, J., & Lohbener Kab Indramayu, K. (2017). Sistem Kontrol Suhu Penyimpan Buah-Sayur Pada Mesin Pendingin Termoelektrik. *Jurnal Teknologi Terapan* |, 3(2).
- Buchori, L. (2004). *Buku Ajar Perpindahan Panas Bagian I.*
- Gumilang, F., Pratama, I., Purnomo, B., Kurniawan, A., Bangun, R., Portable, K., Termoelektrik, M., Thermostat, D., & Suhu, S. S. (2023). *Rancang Bangun Kulkas Portable Menggunakan Termoelektrik Dan Thermostat Sebagai Sensor Suhu. 1*(1), 31–36.
- Indrawan dan Suryono Suryono, W. (2019). *Sistem Pendingin Menggunakan Thermo-Electric Cooler Dengan Kontroler Proportional-Integral-Derivative* (Vol. 22, Issue 2).
- Larasti, R. (2021). *Analisis Sifat Termoelektrik Material Bulk Mn4si7 Menggunakan Metode Dft (Density Functional Theory).*
- Prasetyo, Y. A. R. (2017). *Sistem Pendingin Hybrid Thermoelectric Cooler Dan Phase Change Material (Pcm) Pada Cool Box.*
- Rafiq, M. I., & Elfiano, E. (2021). *Analisa Aliran Kalor Pada Sistem Pendingin Menggunakan Modul Termoelektrik Cooler Dengan Tipe Silinder.*
- Rowe, D. Michael. (2006). *Thermoelectrics handbook : Macro To Nano.* CRC/Taylor & Francis.
- Selviana, W. (2017). *Abstract Analysis Perfomance Cooler And Heating Box Using Thermoelectric Module Tec-12706.*

Sucipta, I. M., Astika, I. Made, & Santika, I. G. Y. S. (2022). *Pengaruh Penggunaan Thermoelectric Cooler Terhadap Unjuk Kerja Kotak Pendingin Portable I Gede Yoga Darma Santika, I Made Astika, dan I Made Sucipta**.

Widianto, T. N., & Hakim, A. R. (2017). Performansi Pendingin Termoelektrik Alat Transportasi Ikan Segar pada Berbagai Tegangan (Thermoelectric Performance of Refrigerated Fish Container at Various Voltages). *Agritech*, 36(4), 485. <https://doi.org/10.22146/agritech.16777>

