

ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN DAN JENIS FLUIDA TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC COOLER* (TEC)

SKRIPSI

OLEH:

**SOPRANTO
218130033**



**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 3/8/26

Access From (repository.uma.ac.id)3/8/26

HALAMAN JUDUL

ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN DAN JENIS FLUIDA TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC COOLER* (TEC)

SKRIPSI

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

OLEH:

SOPRANTO
218130033

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

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Proposal : Analisis Pengaruh Laju Aliran Dan Jenis Fluida
Terhadap Kinerja *Thermoelectric Cooler* (TEC)
Nama Mahasiswa : Sopranto
NIM : 218130033
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: 16 Februari 2026

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, 15 April 2026



Sopranto
NPM: 218130033

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

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

Nama : Sopranto
NPM : 218130033
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: "ANALISIS PENGARUH LAJU
ALIRAN DAN JENIS FLUIDA TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC
COOLER* (TEC)"

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti
Nonekseksklusif 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 : 15 Februari 2026
Yang menyatakan :

(Sopranto)
NPM: 218130033

ABSTRAK

Penelitian ini membahas analisis pengaruh laju aliran dan jenis fluida terhadap kinerja *Thermoelectric Cooler* (TEC) tipe TEC1-12706 pada sistem kotak pendingin. TEC dipilih sebagai alternatif teknologi pendingin yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan *refrigeran*. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan dua jenis fluida pendingin, yaitu air dan radiator *coolant*, serta dua variasi laju aliran fluida, yaitu $0,005 \text{ l/s}$ dan $0,012 \text{ l/s}$. Parameter utama yang dianalisis adalah *Coefficient of Performance* (COP) TEC dan COP sistem kotak pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan laju aliran fluida berpengaruh terhadap COP. Laju aliran fluida $0,012 \text{ l/s}$ dan jenis fluida air memberikan kinerja penyerapan kalor yang lebih baik pada sisi panas *Thermoelectric Cooler* dibandingkan pada penggunaan laju aliran $0,005 \text{ l/s}$ dan jenis fluida *coolant*, sehingga sisi dingin TEC dapat lebih dingin, namun di sisi lain berdampak pada peningkatan daya input TEC yang mengakibatkan kinerja *Thermoelectric Cooler* menurun. Penggunaan jenis fluida dan Variasi laju aliran berpengaruh terhadap kinerja kotak pendingin berbasis *Thermoelectric Cooler* (TEC), kombinasi penggunaan jenis fluida air lebih berpengaruh dibandingkan pada penggunaan Radiator *Coolant*. Dimana pada laju aliran $0,012 \text{ l/s}$ dengan penggunaan jenis fluida air memiliki COP sistem tertinggi yaitu sebesar 0,029, sedangkan pada penggunaan jenis fluida radiator *coolant* memiliki nilai COP sistem sebesar 0,026.

Kata kunci: *Thermoelectric Cooler* (TEC), laju aliran, jenis fluida, *Coefficient of Performance* (COP)

ABSTRACT

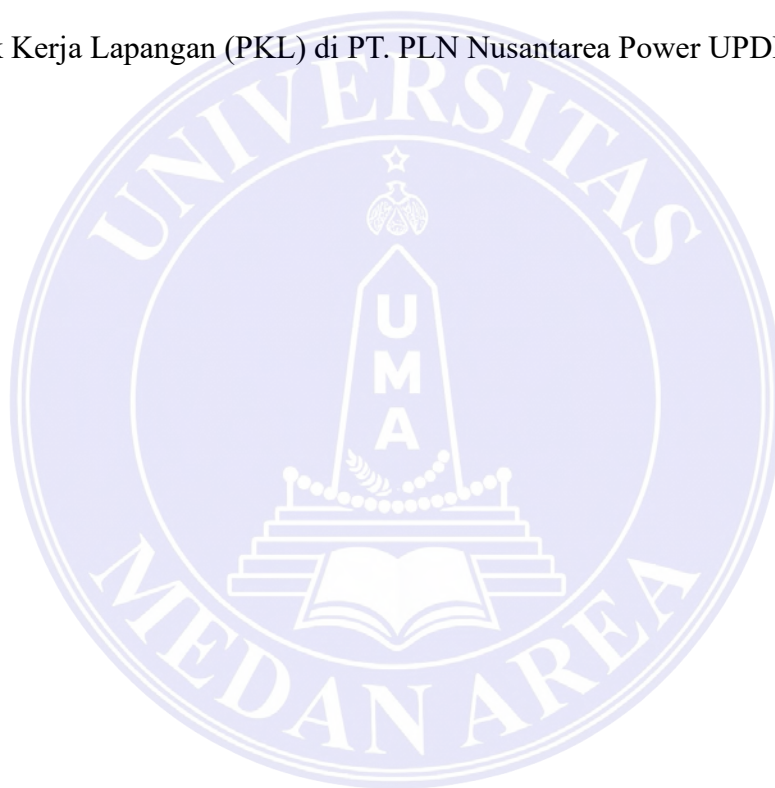
This research discusses an analysis of the effect of flow rate and fluid type on the performance of a Thermoelectric Cooler (TEC) type TEC1-12706 in a cooler box sistem. TEC was selected as an alternative environmentally friendly cooling technology because it does not use refrigerants. The research method was conducted experimentally using two types of cooling fluids, namely water and radiator coolant, and two variations of fluid flow rates, namely 0.005 l/s and 0.012 l/s. The main parameters analyzed were the Coefficient of Performance (COP) of the TEC and the COP of the cooler box sistem. The results show that an increase in fluid flow rate affects the COP. A flow rate of 0.012 l/s with water as the cooling fluid provides better heat absorption performance on the hot side of the Thermoelectric Cooler compared to a flow rate of 0.005 l/s and the use of radiator coolant. As a result, the cold side of the TEC becomes colder; however, this also leads to an increase in the TEC input power, which causes a decrease in the Thermoelectric Cooler performance. The type of fluid and flow rate variation significantly affect the performance of the Thermoelectric Cooler-based cooler box sistem. The combination using water as the cooling fluid has a greater influence compared to the use of radiator coolant. At a flow rate of 0.012 l/s with water, the sistem achieves the highest COP, which is 0.029, whereas the use of radiator coolant results in a sistem COP of 0.026.

Keywords: Thermoelectric Cooler (TEC), flow rate, type of fluid, Coefficient of Performance (COP)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan, pada tanggal 25 Maret 2002 dari ayah Parlin Siahaan dan Ibunda Hoddy Erita Br. Sinambela. Penulis merupakan anak kelima dari lima bersaudara.

Pada tahun 2019 penulis lulus dari SMA Swasta Markus 2 Medan 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 PT. PLN Nusantara Power UPDK Pandan.

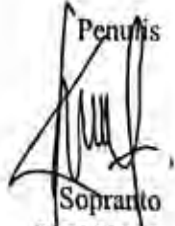


KATA PENGANTAR

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 Parlin Siahaan dan Ibunda Hoddi Erita Br. Sinambela)
6. Saudara penulis Novita Pebrianti Siahaan dan Eva Yusniati Siahaan.
7. Sesama teman-teman mahasiswa Teknik mesin Universitas Medan Area.

Penulis

Sopranto
218130033

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teknik Pendingin.....	5
2.2 <i>Thermoelectric</i>	6
2.3 Efek <i>Thermoelectric</i>	6
2.3.1 Efek Seebeck.....	6
2.3.2 Efek Peltier	11
2.3.3 Efek Thomson.....	17
2.4 <i>Heatsink</i>	18
2.5 <i>Coefficient Of Performance (COP)</i>	21
2.6 Perpindahan Kalor	22
2.6.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi	24
2.6.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi	25

2.6.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi.....	27
2.7 Laju Aliran Fluida	28
2.7.1 Aliran Laminar.....	29
2.7.2 Aliran Transisi.....	29
2.7.3 Aliran Turbulen	29
2.8 Penelitian Terdahulu	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2 Bahan dan Alat	32
3.2.1 Bahan	33
3.2.2 Alat.....	41
3.3 Metode Penelitian.....	43
3.4 Populasi dan Sampel	43
3.4.1 Populasi.....	43
3.4.2 Sampel	43
3.5 Prosedur Kerja.....	44
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Data Hasil Pengujian	46
4.1.1 Hasil pengujian suhu kotak pendingin.....	46
4.1.2 Hasil pengujian Daya TEC	47
4.2 Pembahasan	48
4.2.1 Pembahasan Analisa Konsumsi Energi.....	50
4.2.2 Pembahasan Analisa <i>Coefficient Of Performance Thermoelectric Cooler</i> (TEC)	51
4.2.3 Pembahasan Analisa COP Sistem Kotak Pendingin.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
TERLAMPIR I: Data Penelitian	63
TERLAMPIR II: Nilai COP (<i>Coefficient Of Performance</i>)	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Efek Seebeck pada termoelektrik	7
Gambar 2. 2 Konsep Dasar Efek Seebeck	7
Gambar 2. 3 Thermoelectric Cooler.....	12
Gambar 2. 4 Efek peltier pada termoelektrik	13
Gambar 2. 5 Modul Termoelektrik.....	15
Gambar 2. 6 Aliran panas pada semikonduktor tipe-P.....	16
Gambar 2. 7 Arah Aliran elektron pada semikonduktor tipe-N	17
Gambar 2. 8 Heatsink.....	19
Gambar 2. 9 Perpindahan kalor pada permukaan, a). Tanpa sirip, dan b). dengan sirip.....	19
Gambar 2. 10 Beberapa area perpindahan kalor.	23
Gambar 2. 11 Perpindahan kalor secara konduksi.	24
Gambar 2. 12 Skema perpindahan panas konduksi.	25
Gambar 2. 13 Proses konveksi secara paksa dan alami.	26
Gambar 2. 14 Proses perpindahan kalor radiasi.....	27
Gambar 2. 15 Aliran Laminar	29
Gambar 2. 16 Aliran Transisi	29
Gambar 2. 17 Aliran Trubulen	30
Gambar 3. 1 <i>Thermoelectric coller</i> (TEC-12706).....	33
Gambar 3. 2 Selang transparan	34
Gambar 3. 3 Keran fluida mini	35
Gambar 3. 4 Pompa fluida mini	35
Gambar 3. 5 <i>Power Supply</i>	36
Gambar 3. 6 <i>Heatsink</i>	37
Gambar 3. 7 <i>Waterblock</i>	38
Gambar 3. 8 Wadah tampungan fluida.....	40
Gambar 3. 9 Kotak Pendingin Berbasis TEC.....	40
Gambar 3. 10 Termokopel.....	41
Gambar 3. 11 Gelas ukur (500 ml).....	42
Gambar 3. 12 Wattmeter	43
Gambar 4. 1 Pengujian kotak pendingin TEC	46

Gambar 4. 2 Grafik perubahan suhu pada kotak pendingin terhadap waktu pengujian pada variasi laju aliran air	48
Gambar 4. 4 Grafik Perubahan Arus Listrik TEC dan Pompa pada variasi laju aliran fluida	50
Gambar 4. 5 Grafik pengaruh laju aliran dan jenis fluida terhadap COP TEC....	54
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan nilai COP sistem pada variasi laju aliran dan jenis fluida.....	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien seebeck material semikonduktor.....	9
Tabel 2. 2 Tabel <i>Resource</i> Jurnal.....	30
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir	32
Tabel 3. 2 Spesifikasi bagian peltier TEC1-12706.....	33
Tabel 3. 3 Spesifikasi kinerja peltier TEC1-12706	34
Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa fluida	35
Tabel 3. 5 Spesifikasi power supply.....	36
Tabel 3. 6 Spesifikasi <i>heatsink</i>	37
Tabel 3. 7 Spesifikasi <i>waterblock</i>	38
Tabel 3. 8 Spesifikasi kotak pendingin	41
Tabel 3. 9 Spesifikasi termokopel	42
Tabel 3. 10 Populasi dan sampel	44
Tabel 4. 5 Konsumsi daya kotak pendingin TEC	47
Tabel 4. 6 Data Hasil pengujian dengan beban pendingin (440 ml air).....	47
Tabel 4.8 Hasil perhitungan COP kotak pendingin TEC dengan menggunakan beban pendingin.	56
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran air 0,005 l/s	63
Tabel 4. 2 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran air 0,012 l/s	64
Tabel 4. 3 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran <i>coolant</i> 0,005 l/s	66
Tabel 4. 4 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran <i>coolant</i> 0,012 l/s	67
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan COP.....	69

DAFTAR NOTASI

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
T	Suhu umum	$^{\circ}\text{C}$ atau K
T_h	Suhu sisi panas (<i>hot side</i>)	K
T_c	Suhu sisi dingin (<i>cold side</i>)	K
V	Tegangan listrik	Volt
I	Arus listrik	Ampere
R	Hambatan listrik modul TEC	Ω
P	Daya listrik masukan	
α	Koefisien Seebeck	-
COP	<i>Coefficient Of Performance</i>	-
TEC	<i>Thermoelectric Cooler</i>	-
ΔT	Selisih temperatur	$^{\circ}\text{C}$ atau K
Q_{in}	Energi panas yang masuk	Watt
ΔV	Tegangan yang dihasilkan	Volt
k	Konduktivitas termal	W/m.K
Z	<i>figure of merit</i>	-
μ	Koefisien Thomson	V/K
$\bar{Q}$	Panas peltier	Watt
q_x''	Laju perpindahan kalor konduksi	Watt

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem pendinginan mempunyai peranan yang sangat penting bagi aspek kehidupan manusia saat ini. Iklim di Indonesia yang tropis, pendinginan ini dimanfaatkan untuk menjaga kualitas kesegaran makanan, minuman, sayur dan buah-buahan saat dikonsumsi Kembali dalam jangka waktu yang lama. Dalam pendinginan makanan dan minuman, umumnya dilakukan dengan penggunaan alat pendingin *refrigerant/freon* sebagai *refrigen* yang memiliki dimensi yang cukup besar.

Teknologi pendinginan terus mengahapi tantangan untuk menciptakan sistem yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Teknologi pendinginan tradisional, yang umumnya menggunakan *refrigeran* berbasis penggunaan senyawa kimia. Mesin pendingin saat ini digunakan untuk menjaga produk makanan yang mudah busuk. Mesin pendingin konvensional berdasarkan kompresi uap memiliki koefisien kinerja (COP) yang tinggi, namun penggunaan *refrigerant* memiliki efek merugikan pada lingkungan (Aziz et al., 2017). Dalam menunjang kinerjanya kulkas menggunakan menggunakan *refrigerant* yang mengandung CFC (*Clororo Flouro Carbon*) jika terurai di udara, dapat merusak struktur lapisan O_3 (*Ozone*) jika terurai di udara

Seiring dengan perkembangan teknologi, penemuan *Thermoelectric Cooler* (TEC) menjadi salah satu alternatif pendinginan yang ramah lingkungan, hemat energi dan dapat dibawa kemana saja. TEC merupakan pendinginan yang tidak

menggunakan sistem kompresi uap seperti umumnya yang digunakan pada sistem pendinginan masa kini.

Thermoelectric Cooler merupakan salah satu alternatif teknologi pendingin selain kompresi uap yang menggunakan *refrigerant*. Bila pada pendingin kompresi uap terjadi mekanisme aliran fluida dan perubahan siklus. Lain halnya dengan pendingin termoelektrik yang langsung mengkonversi arus Listrik menjadi perbedaan temperatur. Karena tidak menggunakan *refrigeran* dan aliran fluida, pendingin lebih ramah lingkungan, desainnya lebih sederhana dan perawatannya lebih mudah dengan umur pakai yang cukup lama (Ramdan, n.d.-a). Pada penggunaannya TEC masih memiliki berbagai keterbatasan dari segi efisiensi dibandingkan dengan sistem pendinginan berbasis kompresi konvensional. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan kinerja dari sistem TEC agar dapat bersaing dengan teknologi pendinginan lainnya.

Salah satu cara yang potensial untuk meningkatkan efisiensi *Thermoelectric Cooler* (TEC) adalah melalui variasi penggunaan fluida dan laju aliran fluida. fluida seperti air dan *coolant* karena memiliki karakteristik yang berbeda dan laju alirannya juga mempengaruhi efisiensi perpindahan panas. Laju aliran yang lebih tinggi memungkinkan perpindahan yang lebih cepat. Sebaliknya, laju aliran yang lebih rendah memungkinkan tidak cukup untuk menghilangkan panas secara efisien. Oleh karena itu, penelitian ini akan difokuskan pada variasi laju aliran fluida dan jenis fluida untuk meningkatkan efisiensi sistem TEC dalam aplikasi *refrigerator*.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, perlu dilakukan penelitian mengenai analisis pengaruh laju aliran dan jenis fluida terhadap kinerja *Thermoelectric*

Cooler (TEC). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai parameter-parameter yang berpengaruh signifikan terhadap kinerja sistem pendingin termoelektrik, serta menjadi dasar dalam perancangan sistem pendingin yang lebih optimal dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh laju aliran dan jenis fluida terhadap kinerja TEC?
2. Bagaimana pengaruh laju ariran dan jenis fluida (air dan *coolant*) terhadap sistem pendinginan TEC?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh laju aliran dan jenis fluida pendingin terhadap kinerja *Thermoelectric Cooler* (TEC)
2. Menganalisis pengaruh laju aliran dan jenis fluida pendingin terhadap kinerja pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC)

1.4 Hipotesis Penelitian

Variasi laju aliran fluida dan jenis fluida berpengaruh terhadap sistem pendinginan TEC secara signifikan mempengaruhi kinerja *thermoelectric cooler*, di mana terdapat laju aliran dan jenis fluida memberikan kinerja yang berbeda terhadap penyerapan kalor. Hipotesis ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan

antara laju aliran dan kinerja termoelektrik *cooler*, dengan harapan menemukan parameter yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem pendinginan.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menciptakan *prototype* kotak pendingin dengan skala kecil yang dapat mengganti Freon, dan juga dapat menciptakan kotak pendingin yang hemat energi, ramah lingkungan, dan mendapatkan efisiensi pendinginan yang maksimum sehingga dapat dimanfaatkan untuk menyimpan obat-obatan, sayuran maupun minuman.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini antara lain adalah:

1. Menggunakan jenis pendinginan termoelektrik peltier TEC1-12706.
2. Data yang diambil dari proses pendinginan dalam kotak pendingin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknik Pendingin

Pendingina merupakan Teknik pengawetan makanan dan minuman, dahulu pengawetan makanan dapat dilakukan dengan: dikeringkan, diasap, diasinkan (diberi garam), dirempahi (diberi rempah-rempah), dibuat manisan dan didinginkan. Pendinginan ini bertujuan agar makanan dapat disimpan lebih lama dan tidak membusuk. Pembusukan pada makanan ini disebabkan oleh jasad renik (*microbes*) yang ada dalam bahan makanan, yaitu: kuman, jamur dan lain-lain. Jasad renik ini dalam keadaan suhu lembab dapat berkembang biak dengan cepat, dan pada suhu udara yang lebih tinggi jasad renik ini dapat berkembang biak lebih cepat, sehingga jumlahnya menjadi berlipat ganda, menjadi ribuan bahkan jutaan dari jumlah sebelumnya (Handoko, K. 2015).

Telah diteliti bahwa jasad renik ini susah berkembang biak pada batas suhu udara 10 °C, sedangkan bahan makanan masih dapat disimpan dalam keadaan baik. Pada bahan sayur-sayuran dan buah-buahan yang banyak mengandung banyak kandungan air harus disimpan di atas titik beku dari zat cair, diantara 3 °C - 10°C. Suhu tersebut harus dipertahankan di dalam lemari es.

Pada tahun 1850, mesin pendingin yang memakai kompresor dengan bahan pendingin udara mulai digunakan, namun kapasitas pendinginan udara yang dihasilkan sangat rendah, mesin pendingin ini dikembangkan dengan menggunakan bahan amonia. Penggunaan amonia untuk bahan pendinginan sangat terbatas dan mempunyai keburukan dari penggunaan amonia yang beracun. Dengan Upaya pengembangan pendinginan yang dilakukan, freon ditemukan sebagai bahan

pendinginan yang lebih aman dan sempurna, dana sekarang hamper semua lemari es kompresor menggunakan freon sebagai bahan pendinginan.

2.2 *Thermoelectric*

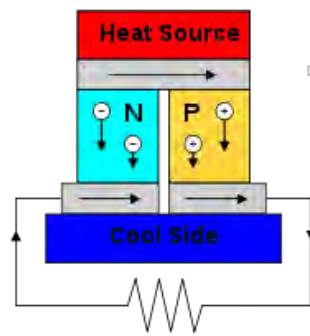
Termoelektrik (*Thermoelectric*) adalah suatu fenomena konversi dari perbedaan temperatur menjadi energi Listrik atau sebaliknya. Fenomena ini telah dikembangkan menjadi suatu modul sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit Listrik atau perangkat pendingin/pemanas (Ramdan, n.d.-b).

2.3 *Efek Thermoelectric*

Pada rangkaian termoelektrik terdapat tiga macam Gaya Gerak Listrik (GGL), yaitu GGL efek Seebeck yang disebabkan oleh dua material logam yang berbeda, GGL Peltier yang disebabkan arus yang mengalir dalam rangkaian, serta GGL Thomson yang disebabkan oleh adanya gradien temperatur pada material (Darmawan, R. dkk, 2022). Untuk penjelasan lebih lanjut mengenai efek termoelektrik adalah sebagai berikut:

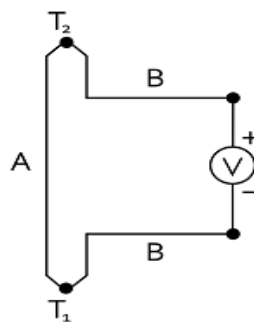
2.3.1 Efek Seebeck

Pada tahun 1821, Thomas Johann Seebeck menemukan bahwa jika terdapat dua material yang terhubung dengan kondisi temperatur yang berbeda, maka akan menimbulkan beda potensial yang menghasilkan arus Listrik, inilah yang disebut dengan efek *Seebeck*. Dengan efek ditemukannya pada tahun tersebut Seebeck dapat mengkonversi energi termal menjadi energi Listrik dengan efisiensi sekitar 3%, dimana cukup baik jika dibandingkan dengan mesin uap pada waktu itu (Akbar, M. dkk 2021).



Gambar 2. 1 Efek Seebeck pada termoelektrik
(Sumber: Zulkepli, N. 2021)

Thomas Johann Seebeck merupakan seorang ilmuwan Jerman melakukan eksperimen dengan menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian tertutup dan diantara kedua logam tersebut diletakkan jarum Kompas. Ketika pada persambungan logam dipanaskan, jarum Kompas bergerak. Hal ini dapat terjadi karena logam yang berbeda menanggapi perbedaan temperatur, yang menimbulkan rangkaian arus dan medan magnet. Jarum Kompas dapat bergerak diakibatkan oleh adanya gaya medan magnet. Pada eksperimen yang dilakukan, *Seebeck* tidak menyadari bahwa adanya keterlibatan arus sehingga dia menyebut fenomena tersebut dengan efek *thermomagnetic*. Akan tetapi seorang fisikawan, Hans Christian Ørsted memperbaiki kesalahan tersebut dan menciptakan istilah untuk mengganti efek *thermomagnetic* menjadi *thermoelectricity*.



Gambar 2. 2 Konsep Dasar Efek Seebeck
(Sumber: Bayusari, I. 2022)

Efek termoelektrik yang mendasari terjadinya konversi energi dari termoelektrik dapat dijelaskan secara baik dengan mengacu pada skematik termokopel yang terlihat pada Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa pada sirkuit tersebut tersusun dari dua konduktor yang berbeda, yaitu konduktor A dan B yang tersusun seri secara Listrik dan paralel secara termal. Jika pada sambungan antara konduktor A dan B pada titik T_1 dan T_2 diberikan perbedaan temperatur $T_1 > T_2$, maka akan membangkitkan perbedaan tegangan pada titik A dan B yang dapat diberikan menurut persamaan sebagai berikut: (Akbar, M. dkk 2021)

$$\Delta V = \int_{T_2}^{T_1} S_{AB} dT \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

ΔV = tegangan yang dihasilkan (volt)

S_{AB} = koefisien seebeck (Volt/K)

T_1 dan T_2 = temperatur dari dua persambungan (K)

Tegangan yang terjadi pada efek seebeck termoelektrik saat arus Listrik mengalir menjadi:

$$V = \alpha \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

V = tegangan (volt)

α = koefisien seebeck (Volt/K)

ΔT = perbedaan suhu antara dua persambungan (K)

Efek Seebeck dapat diterapkan dalam beberapa jenis material konduktor. Setiap material memiliki nilai koefisien *seebeck* yang berbeda-beda,

sehingga tegangan yang dihasilkan untuk setiap material akan berbeda. Nilai koefisien *seebeck* suatu material berbanding lurus terhadap tegangan yang akan dihasilkan. Pengukuran koefisien *seebeck* dibagi menjadi dua, yaitu koefisien *seebeck* relatif dan koefisien *seebeck* absolut. Koefisien *seebeck* relatif dapat dilihat pada tabel berikut (Aprilia Medina, I, 2014):

Tabel 2. 1 Koefisien *seebeck* material semikonduktor

Material Semikonduktor	Koefisien Seebeck (V/K)
<i>Selenium</i>	900
<i>Tellurium</i>	500
<i>Silicon</i>	440
<i>Germanium</i>	330
<i>Antimony</i>	47
<i>Nichrome</i>	25
<i>Molybdenum</i>	10
<i>Cadmium, Tungsten</i>	7,5
<i>Gold, Silver, Copper</i>	6,5
<i>Rhodium</i>	6,0
<i>Tantalum</i>	4,5
<i>Lead</i>	4,0
<i>Aluminium</i>	3,5
<i>Carbon</i>	3,0
<i>Mercury</i>	0,6
<i>Platinum</i>	0
<i>Sodium</i>	-2,0
<i>Potassium</i>	-9,0
<i>Nickel</i>	-15
<i>Constantan</i>	-35
<i>Bismuth</i>	-72

Koefisien seebeck merupakan besaran nonlinear sebagai fungsi dari temperatur dan bergantung pada material dan struktur molekul material. Setiap termoelektrik efek memiliki sebuah simbol yang diturunkan dari hubungan properties material. Koefisien seebeck didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\alpha = 2 \cdot \alpha_m \cdot N \dots\dots\dots (2.4)$$

α_m merupakan nilai dari koefisien seebeck elemen dari sebuah *thermoelectric* yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Marsan & Anwar, 2016) berikut.

$$\alpha_m = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot T_{ave} + \alpha_2 \cdot T_{ave}^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

S, α = Koefisien seebeck (volt/K)

ΔV = Tegangan yang dihasilkan (volt)

ΔT = Perbedaan temperatur (K)

α_m = Koefisien seebeck elemen

Figure of merit (Z) merupakan nilai standar untuk menentukan efisiensi suatu material yang digunakan pada termoelektrik. Jika nilai Z meningkat berarti kemampuan dari suatu material termoelektri juga meningkat. Nilai *figure of merit* bervariasi tergantung kebutuhan material termoelektrik terhadap temperatur. Untuk menentukan nilai efisiensi dari sebuah material pada penggunaannya untuk termoelektrik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Salah & Abuhelwa, 2020a):

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho K} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana ρ merupakan tahanan elemen elektrik dari sebuah elemen *thermoelectric* yang dapat ditentukan dengan persamaan (Gani et al., 2022) berikut.

$$\rho = \rho_0 + \rho_1 \cdot T_{ave} + \rho_2 \cdot T_{ave}^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Nilai dari ρ digunakan untuk menentukan tahanan elektrik dari sebuah modul termoelektrik dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \dots\dots\dots (2.8)$$

Nilai K pada persamaan *figure of merit* merupakan nilai konduktivitas termal dari sebuah termoelektrik yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$K = 2 \cdot K_m \cdot N \cdot G \dots\dots\dots (2.9)$$

$$K_m = K_0 + K_1 \cdot T_{ave} + K_2 \cdot T_{ave}^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

Z = *figure of merit*

α = Koefisien seebeck (volt/K)

ρ = Tahanan elektrik elemen (V/K)

R = Tahanan modul termoelektrik (Ω)

K_m = Konduktivitas termal elemen ($W/cm \cdot K$)

K = Konduktivitas termal (W/K)

N = Jumlah pasang kaki modul termoelektrik

G = Nilai Geometri termoelektrik

2.3.2 Efek Peltier

Pada tahun 1834, seorang ilmuwan Bernama Jea Charles Athanase Peltier menemukan suatu teori pembalikan dari efek seebeck. Ketika arus Listrik mengalir

pada sambungan dua konduktor yang berbeda akan terjadi peristiwa penyerapan kalor (pendingin) atau pembuangan kalor (pemanasan). Peristiwa ini dinamakan efek peltier (*Thermo-Electric Cooler*) (TEC) (Ramdan, n.d.-b).

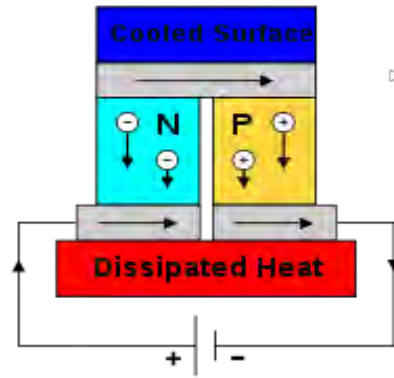


Gambar 2. 3 *Thermoelectric Cooler*

(Sumber: Putra Cahaya, F. 2015)

Thermoelectric Cooler (TEC) berukuran 40 mm x 40 mm atau lebih kecil dan memiliki tebal kurang lebih 4 mm. umur dari sebuah modul termoelektrik yang sesuai dengan standar industri adalah sekitar 100.000 – 200.000 jam dan lebih dari 20 tahun jika digunakan sebagai pendingin dan dengan jumlah tegangan sesuai karakteristik dari setiap modulnya (Fikri, W., 2022).

Pendingin termoelektrik ini merupakan komponen elektronika yang menggunakan efek peltier untuk membuat aliran panas (*heat flux*) pada percabangan (*junction*) antara dua jenis material yang berbeda dengan mengalirkan arus listrik pada dua buah material tersebut yang direkatkan dalam sebuah rangkaian (Alfiansyah, I. 2021).



Gambar 2. 4 Efek peltier pada termoelektrik
(Sumber: Zulkepli, N. 2021)

Modul *Thermoelectric Cooler* (TEC) dikatakan sebagai pompa kalor karena menggunakan beberapa termokopel yang disusun seri sehingga memungkinkan sejumlah besar perpindahan panas. Melalui mekanisme pompa kalor tersebut TEC akan menghasilkan temperatur suhu dingin di satu sisi dan temperatur suhu panas disisi lainnya. Bagian terluar dari peltier dilapisi oleh material sejenis keramik tipis yang berisikan batang-batang semikonduktor *Bismuth Telluride* yang didalamnya diberi zat tambahan yang bertujuan memberi kelebihan elektron bebas (tipe-N semikonduktor) atau memberi kekurangan elektron bebas (tipe-P semikonduktor) (Alfalah, 2023).

Besarnya aliran kalor pada kedua logam tersebut sebanding dengan besar arus yang mengalir, yaitu dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$q = \pi_{AB} \cdot I \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan q adalah laju aliran kalor dalam satuan (joule), π_{AB} adalah koefisien efek peltier dalam satuan (Volt), dan I adalah arus listrik yang mengalir pada sambungan dalam satuan (Amper).

Sebagaimana koefisien seebeck, koefisien peltier merupakan fungsi kuat arus terhadap suhu. Hubungannya dengan efek *seebeck* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut (Aziz et al., 2017):

$$\pi_{AB} = \alpha_{AB} \cdot T \dots\dots\dots (2.12)$$

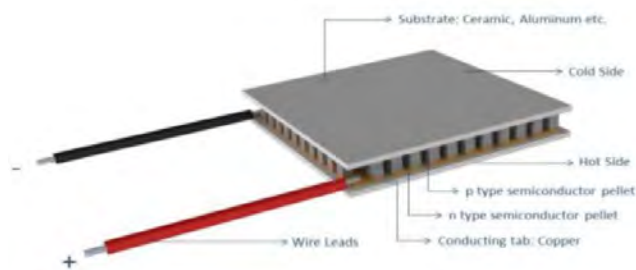
Dengan T adalah suhu logam. Hal ini menunjukkan bahwa koefisien peltier bergantung pada suhu logam. Jadi, semakin tinggi suhu logam maka semakin cepat laju aliran kalor, seperti ditunjukkan dalam persamaan berikut (Sulistiyanto, N., 2014):

$$q = \alpha_{AB} \cdot I \cdot T \dots\dots\dots (2.13)$$

2.3.2.1 Material Semikonduktor Pada Efek Peltier

Bahan semikonduktor adalah blok bangunan komponen elektronik seperti transistor, sirkuit terpadu, dan diode. Semikonduktor adalah bahan konduktif Listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Penelitian awal tentang material termoelektrik pada tahun 1950 dan 1960 menunjukkan bahwa Paduan *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3), *Lead Telluride* (PbTe) dan *Silicon-Germanium* (SiGe) sebagai material dengan bilangan Merit terbaik untuk tiga interval temperatur. *Bismuth Telluride* (Bi_2Te_3) dan paduannya telah digunakan secara luas dalam aplikasi pendingin termoelektrik dan mempunyai range temperatur 180K-450K. Material *Lead Telluride* (PbTe) dan *Silicon-Germanium* (SiGe) telah digunakan secara luas dalam aplikasi pembangkit daya bertemperatur lebih besar, khususnya pembangkit daya kendaraan angkasa, dan range temperaturnya masing-masing 500K-900K dan 800K-1300K. penemuan material-material tersebut sebagai material termoelektrik

merupakan suatu yang baik untuk mendorong perkembangan industri termoelektrik (Alfalah, 2023).



Gambar 2. 5 Modul Termoelektrik

(Sumbr: Bizzy, I. 2022)

Dapat dilihat dari gambar modul termoelektrik diatas, bahwa energi dalam bentuk energi Listrik yang diberikan merupakan kalor yang dilepas ke lingkungan dikurangi dengan kalor yang diserap (Salim, A. 2018).

Aliran elektron dari semikonduktor tipe-P yang memiliki Tingkat energi yang lebih rendah, menyerap kalor di bagian yang didinginkan lalu elektron mengalir menuju semikonduktor tipe-N melalui konduktor penghubung yang suhu permukaannya (T_c) akan mengalami penurunan. Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan pergerakan elektron ke sisi panas (T_H) (Mirmanto, R. 2018). Persamaan *balanch* energinya ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Q_h = Q_c + Q_{in} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

Q_h = energi panas yang dihasilkan (watt)

Q_c = energi panas yang diserap (watt)

Q_{in} = energi panas yang masuk (watt)

Daya Listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi dalam sirkuit Listrik. Satuan SI (Standar Internasional) daya Listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga Listrik yang mengalir dalam persatuan waktu (joule/detik) (Salim, A. 2018). Berikut ini merupakan persamaan dari daya Listrik.

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

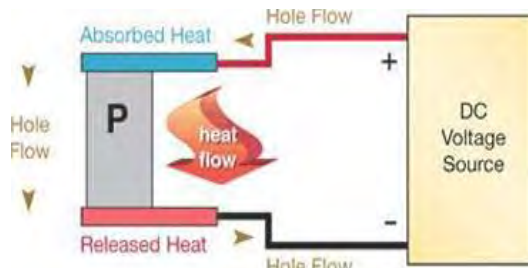
P = daya listrik (watt)

V = tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

2.3.2.2 Cara Kerja Efek Peltier

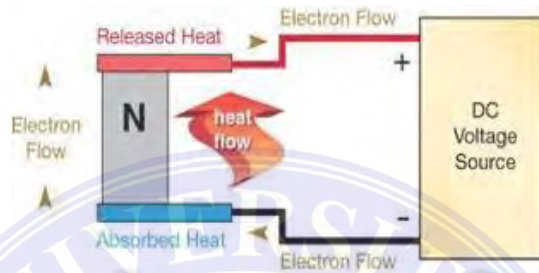
Pada termoelektrik semikonduktor tipe-P juga memiliki peranan untuk menghasilkan pembawa muatan yang dikenal dengan “hole”, yang berfungsi untuk membantu elektron untuk bergerak bebas dalam sirkuit ketika diberikan tegangan. Arus bermuatan positif yang dihasilkan oleh kutub positif dari sumber arus DC dan tertarik ke kutub bermuatan negatif. “Hole” tadi bergerak berlawanan arah dengan elektron yang dihasilkan oleh semikonduktor tipe-N. sehingga semikonduktor tipe-P ini berfungsi untuk menarik panas atau kalor ke arah kutub negatif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Aliran panas pada semikonduktor tipe-P

(Sumber: Rafiq Ibny, M. 2021)

Sumber arus DC yang terhubung seperti Gambar 2.7, elektron akan keluar dari kutub negatif dan akan tertarik ke arah kutub positif sehingga aliran elektron akan searah dengan jarum jam. Dengan aliran elektron yang melalui semikonduktor tipe-N, panas akan diserap pada sisi yang di bawah dan secara aktif di pindahkan ke sisi bagian atas.



Gambar 2. 7 Arah Aliran elektron pada semikonduktor tipe-N
(Sumber: Rafiq Ibny, M. 2021)

2.3.3 Efek Thomson

William Thomson adalah seorang fisikawan asal Inggris Raya menyelidiki lebih lanjut termoelektrisitas dan menemukan efek ketiga dari termoelektrik, efek Thomson. Sebuah konduktor (kecuali semikonduktor) 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 arus Listrik secara simultan (Ley Busthomy & Widyartono. 2020)

Dalam material logam seperti seng dan tembaga, jika suatu material lebih bersuhu panas pada potensial yang lebih tinggi dan bersuhu dingin pada ujung potensial yang lebih rendah, ketika aliran arus listrik bergerak dari ujung material panas ke ujung material dingin, arus bergerak dari potensial rendah ke potensial tinggi, sehingga ada emisi panas. Hal ini disebut efek Thomson positif. Sedangkan

efek Thomson negatif pada material logam seperti, kobalt, nikel dan besi yang memiliki ujung dingin pada potensial yang lebih tinggi dan ujung panas pada potensial yang lebih rendah, ketika arus listrik bergerak dari ujung panas ke ujung dingin, arus bergerak dari potensial rendah ke potensial tinggi. Koefisien Thomson dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\mu = \frac{\bar{Q}}{I} \Delta T \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan $\bar{Q}$ adalah jumlah perpindahan panas yang diserap oleh konduktor ketika arus listrik mengalir ke arah suhu yang lebih tinggi. Hubungan koefisien Thomson dengan seebeck dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\mu = T \frac{dS}{dT} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

μ = Koefisien Thomson (V/K)

ΔT = Beda temperatur (K)

I = Arus listrik (Amper, A)

$\bar{Q}$ = Panas peltier (watt)

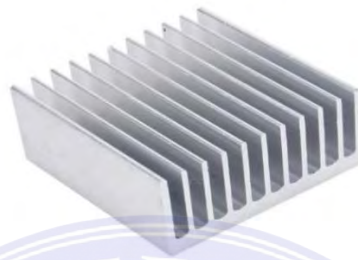
S = Koefisien seebeck (volt/K)

T = Temperatur mutlak (K)

2.4 *Heatsink*

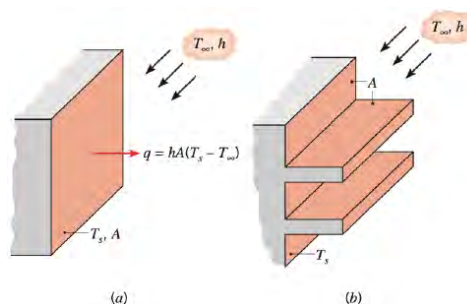
Heatsink merupakan material pemindah panas pasif yang bekerja memindahkan panas dari perangkat elektrik maupun mekanik ke media lain seperti udara dan cairan *coolant*. Dikatakan pasif karena tidak terdapat komponen atau medium yang bergerak didalam *heatsink*. Pada komputer, *heatsink* digunakan untuk

mendinginkan *Central Processing Unit* (CPU) atau pada Prosesor Pengolah Grafis (GPU). Pada peralatan mekanik, *heatsink* digunakan pada TEC untuk pendingin ruangan portabel atau perangkat pendingin (*cool case*) pada mobil (Ibrahim, F., I., B., 2017).



Gambar 2. 8 *Heatsink*
(Sumber: Narazuddin, dkk. 2021)

Heatsink mempunyai bagian pendingin dan bagian penerima panas, pada bagian penyerap panas terbuat dari aluminium ditunjukkan pada Gambar 2.9 di atas. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan maka konduktivitas termal pada bahan perlu dipertimbangkan. Tembaga mempunyai konduktivitas termal yang tinggi sehingga penyerapan panas dilakukan dengan baik. Pada bagian pembuang panas berfungsi untuk mempengaruhi perbedaan suhu pada modul termoelektrik membutuhkan bahan yang memiliki kemampuan melepas dengan baik yaitu aluminium dengan tambahan air es sebagai pendingin (Wibowo et al., n.d.).



Gambar 2. 9 Perpindahan kalor pada permukaan, a). Tanpa sirip, dan b). dengan sirip.

(Sumber: Theodore L. Bergman. 2011)

Meskipun banyak situasi berbeda yang melibatkan efek gabungan konduksi-konveksi, kenyataan yang paling sering adalah permukaan yang diperluas digunakan secara khusus untuk meningkatkan perpindahan kalor antara padatan dan fluida yang sekitarnya. Permukaan yang diperpanjang seperti itu disebut sirip.

Perhatikan Gambar 2.10 (a). jika T_s tetap, ada dua cara di mana laju perpindahan kalor dapat ditingkatkan. Pilihan pertama, koefisien perpindahan kalor konveksi h dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kecepatan fluida, dan/atau temperatur fluida T_∞ dikurangi. Namun, ada banyak situasi di mana peningkatan h ke nilai maksimum yang mungkin tidak cukup untuk mendapatkan laju perpindahan kalor yang diinginkan atau biaya yang terkait menjadi penghalang. Biaya tersebut terkait dengan kebutuhan daya blower atau pompa yang diperlukan untuk meningkatkan nilai h melalui peningkatan gerakan fluida.

Selain itu, pilihan kedua untuk mengurangi temperatur fluida T_∞ seringkali tidak praktis. Lihat gambar 2.10 (b), bagaimanapun, ada pilihan ketiga. Artinya, laju perpindahan kalor dapat ditingkatkan dengan meningkatkan luas permukaan A di mana perpindahan kalor konveksi terjadi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sirip yang memanjang dari dinding ke fluida sekitarnya. Konduktivitas termal bahan sirip dapat memiliki efek yang kuat pada distribusi temperatur di sepanjang sirip dan karena itu mempengaruhi sejauh mana laju perpindahan panas ditingkatkan. Idealnya, bahan sirip harus memiliki konduktivitas termal yang besar untuk meminimalkan variasi temperatur dari dasar ke ujungnya. Dalam batas konduktivitas termal tak terbatas, seluruh sirip akan berada pada temperatur permukaan dasar, sehingga memberikan kemungkinan peningkatan perpindahan kalor maksimum (Bizzy, I. 2022).

Sebuah *heatsink* di desain dengan memaksimalkan luas permukaan yang kontak dengan sumber atau perangkat dan juga dengan medium yang di salurkan panas dari perangkat tersebut. Bentuk sirip, celah antar sirip, dan juga panjang dari sirip merupakan salah satu desain yang diperhitungkan dalam memperbaiki kinerja dari *heatsink*. Dalam penggunaannya, *heatsink* 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 *heatsink*. Adanya *thermal grease* juga berfungsi mengisi celah udara yang mungkin terjebak saat menempelkan *heatsink* pada komponen (Ibrahim, F., I., B., 2017).

2.5 Coefficient Of Performance (COP)

Coefficient Of Performance (COP) atau koefisien kinerja merujuk pada rasio antara jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem refrigerasi dan energi listrik yang disuplai ke sistem tersebut. Untuk mengevaluasi COP, diperlukan kapasitas pendinginan, yang mencakup laju perpindahan panas dari udara, dari air, dan laju perpindahan panas konduksi yang mengalir melalui dinding kotak pendingin. Perhitungan eksperimental COP pada kotak pendinginan didasarkan pada persamaan berikut (Mirmanto et al., 2019):

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana T_h merupakan kalor yang dikeluarkan pada sisi panas per satuan waktu dan T_c merupakan kalor yang diserap oleh sisi dingin per satuan waktu. Nilai kalor yang dibuang pada sisi panas dan diserap oleh dingin dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini (Fauzia, N., 2018):

$$Q_h = \alpha IT_h + 0,5I^2R - K(T_h - T_c) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$Q_c = \alpha IT_c - 0,5I^2R - K(T_h - T_c) \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

COP = *Coefficient of performance*

α = Koefisien *seebeck* (volt/K)

I = Kuat arus listrik (Ampere, A)

Q_h = Energi panas yang diserap (watt)

Q_c = Energi panas yang dihasilkan (watt)

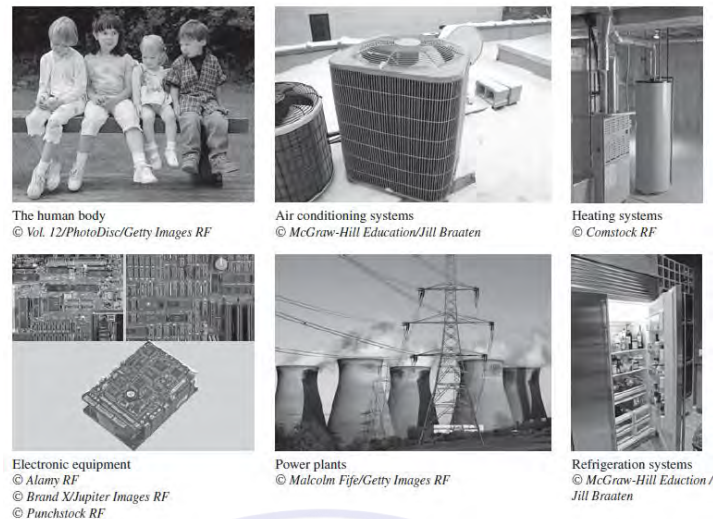
K = Konduktivitas Termal (W/K)

R = Tahanan arus (Ohm, Ω)

Nilai COP ini dapat menggambarkan efisiensi atau kualitas suatu sistem refrigerasi. Semakin tinggi nilai COP, semakin baik kualitas sistem refrigerasi, sedangkan COP yang rendah menandakan bahwa sistem tersebut kurang efisien. Untuk menghitung nilai COP pada sistem refrigerasi yang menggunakan modul termoelektrik.

2.6 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut. Karena beda suhu terdapat di seluruh alam semesta, maka hal ikhwal aliran panas bersifa se-universal hal ikhwal yang berkaitan dengan tarikan gravitasi. Tetapi tidak sebagaimana halnya gravitasi, aliran panas tidak dikendalikan oleh sebuah hubungan yang unik, namun oleh kombinasi dari berbagai hukum fisika yang tidak saling bergantung (Rompas, 2012).



Gambar 2. 10 Beberapa area perpindahan kalor.

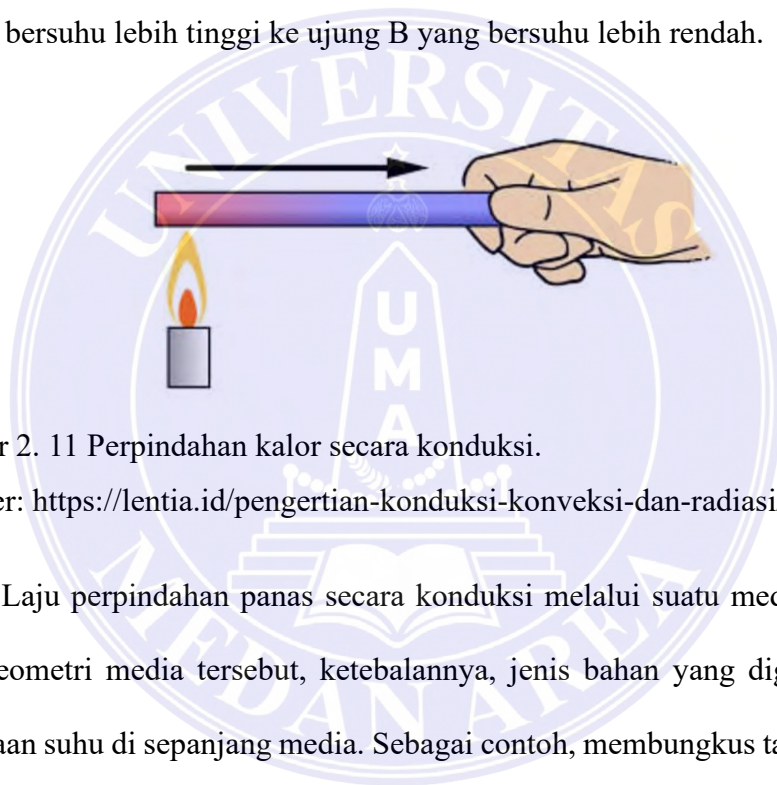
(Sumber: Yunus Cengel. 2015)

Transfer panas sering ditemukan dalam sistem rekayasa dan aspek kehidupan lainnya, dan seseorang tidak perlu pergi jauh untuk melihat beberapa area aplikasi transfer panas. Banyak peralatan rumah tangga biasa yang dirancang, baik secara keseluruhan maupun sebagian, dengan menggunakan prinsip-prinsip transfer panas. Beberapa contoh termasuk kompor listrik atau gas, sistem pemanas dan pendingin udara, kulkas dan *freezer*, pemanas air, setrika, dan bahkan komputer, TV, dan pemutar DVD, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10 (Yunus Cengel & Afsin J. Ghajar. 2015).

Perpindahan panas dalam konsep sistem pendinginan termoelektrik yaitu, perpindahan panas berlangsung dari fluida dengan suhu lebih tinggi ke fluida dengan suhu lebih rendah. Besar kalor yang dipindahkan antara kedua fluida tersebut bergantung pada beberapa faktor, seperti kecepatan aliran fluida, arah aliran, sifat fisik fluida, kondisi permukaan, luas area perpindahan panas, serta perbedaan suhu antara kedua fluida.

2.6.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi

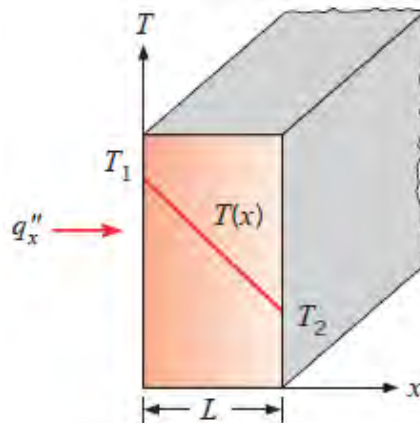
Perpindahan panas konduksi adalah proses pemindahan panas dari area dengan suhu tinggi ke area suhu rendah pada benda yang tidak bergerak, baik dalam benda padat, cair, maupun gas. Pada Gambar 2.11, terlihat bahwa ujung A dari besi dipanaskan dengan api. Awalnya, tangan yang memegang besi tidak merasakan panas. Namun, setelah beberapa waktu, tangan mulai merasakan panas di ujung B. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perpindahan panas secara konduksi dari ujung A yang bersuhu lebih tinggi ke ujung B yang bersuhu lebih rendah.



Gambar 2. 11 Perpindahan kalor secara konduksi.

(Sumber: <https://lentia.id/pengertian-konduksi-konveksi-dan-radiasi/>)

Laju perpindahan panas secara konduksi melalui suatu media bergantung pada geometri media tersebut, ketebalannya, jenis bahan yang digunakan, serta perbedaan suhu di sepanjang media. Sebagai contoh, membungkus tangki air panas dengan wol kaca (bahan isolasi) dapat mengurangi laju kehilangan panas dari tangki tersebut. Semakin tebal lapisan isolasi, semakin kecil jumlah panas yang hilang. Selain itu, kita juga mengetahui bahwa tangki air panas akan kehilangan panas dengan laju yang lebih tinggi jika suhu ruangan tempat tangki berada diturunkan. Di samping itu, semakin besar ukuran tangki, semakin besar pula area permukaannya, yang pada gilirannya akan meningkatkan laju kehilangan panas (Yunus Cengel & Afsin J. Ghajar. 2015).



Gambar 2. 12 Skema perpindahan panas konduksi.

(Sumber: Theodore L. Bergman. 2011)

Untuk konduksi panas, persamaan laju perpindahan kalornya dikenal sebagai Hukum Fourier. Untuk dinding datar satu dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, dengan distribusi suhu $T(x)$, persamaan laju tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

q_x'' = Laju perpindahan kalor konduksi (W)

K = Konduktivitas Termal (WmK)

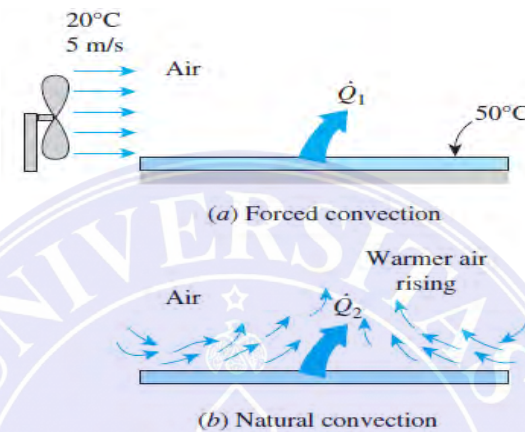
A = Luas penampang (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur terhadap jarak (K/m)

2.6.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Konveksi terjadi ketika aliran atau fluida (gas atau cairan) membawa panas bersama dengan aliran materi. Aliran fluida dapat terjadi karena proses eksternal, seperti gravitasi atau gaya apung akibat energi panas mengembangkan volume fluida. Konveksi paksa terjadi ketika fluida dipaksa mengalir menggunakan pompa,

kipas, atau cara mekanis lainnya. Panas atau kalor adalah energi yang berpindah akibat perbedaan suhu, dimana panas bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Setiap benda memiliki energi dalam yang berhubungan dengan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusunnya, Riupassa et al. (n.d.). perpindahan kalor secara konveksi dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 2. 13 Proses konveksi secara paksa dan alami.
(Sumber: Yunus Cengel. 2015)

Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) seperti pada Gambar 2.14 di atas. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan gradien temperatur, maka dikatakan sebagai konveksi bebas/alamiah (natural), sedangkan bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat tertentu dari luar dikatakan sebagai konveksi paksa. Fenomena perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi sebagai akibat dari pergerakan molekuler acak (difusi) dan energi yang dipindahkan secara makroskopik dari fluida (Danila, 2022).

Besarnya laju perpindahan kalor secara konveksi dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Q = hA_s(\Delta T) \dots\dots\dots (2.22)$$

Atau,

$$Q = hA_s(T_s - T_f) \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan kalor konveksi (W)

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2\text{°C}$)

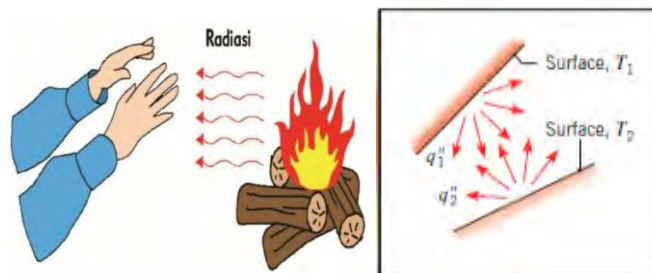
A_s = Luas permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida (m^2)

T_s = Suhu permukaan (°C)

T_f = Suhu fluida (°C)

2.6.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang tidak melalui medium (ruang vakum), energi dilepaskan oleh benda sebagai gelombang elektromagnetik karena adanya tumpukan energi termal pada semua benda dengan suhu diatas nol mutlak. Radiasi termal muncul akibat perpindahan acak dari atom dan molekul benda. Karena atom dan molekul terdiri dari partikel bermuatan (proton dan elektron), pergerakan mereka menghasilkan pelepasan radiasi elektromagnetik yang membawa energi. Perpindahan kalor yang terjadi secara radiasi dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut.



Gambar 2. 14 Proses perpindahan kalor radiasi

(Sumber: Theodore L. Bergman. 2011)

Persamaan umum radiasi yang digunakan untuk menentukan laju perpindahan kalor adalah sebagai berikut (cangel):

$$q = \sigma \cdot A(T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

Q = laju perpindahan panas radiasi (W)

A = luas penampang dimana panas mengalir (m^2)

Σ = konstanta Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$)

T_1 = temperatur permukaan bidang satu (K)

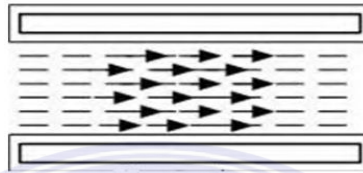
T_2 = temperatur permukaan bidang dua (K)

2.7 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.

2.7.1 Aliran Laminar

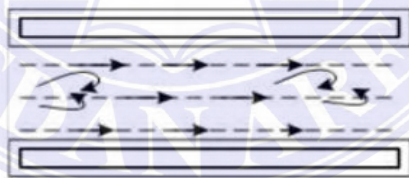
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnnya kurang dari 2300 ($Re < 2300$).



Gambar 2. 15 Aliran Laminar
(Sumber: Sa'adah, N. Nur. 2016)

2.7.2 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 ($2300 < Re < 4000$).

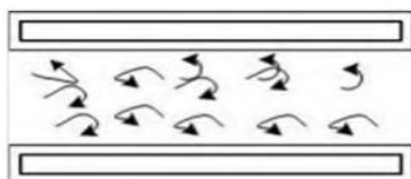


Gambar 2. 16 Aliran Transisi
(Sumber: Sa'adah, N. Nur. 2016)

2.7.3 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. 17 Aliran Turbulen

(Sumber: Sa'adah, N. Nur. 2016)

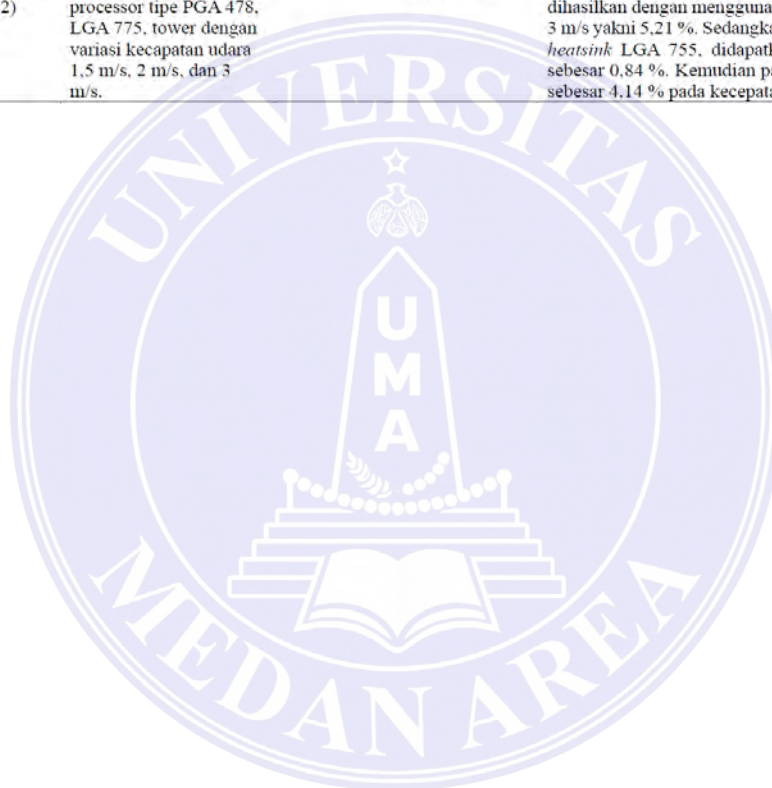
2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan kajian terhadap hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan memiliki keterkaitan dengan topik penelitian yang sedang dibahas. Kajian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran mengenai perkembangan penelitian, metode yang digunakan, variabel yang diteliti, serta hasil-hasil yang telah dicapai oleh peneliti sebelumnya.

Tabel 2. 2 Tabel *Resource* Jurnal

No.	Penulis (Tahun)	Fokus Penelitian	Metode	Variabel Utama	Hasil Penelitian
1	Kennedy, dkk (2016)	Pengaruh laju aliran fluida pendingin <i>water block</i> aluminium sebagai <i>heatsink</i> , terhadap kinerja pendingin termoelektrik (TEC)	eksperimen	Δt , daya input TEC, Qc, COP	Kecepatan aliran fluida pendingin pada <i>heatsink</i> sangat berpengaruh terhadap kinerja kotak pendingin. Peningkatan laju aliran pendingin pada <i>heatsink</i> akan meningkatkan efek serapan kalor, namun disisi lain berdampak pada peningkatan daya input system. Laju serapan kalor tertinggi pada laju aliran 6 LPM menghasilkan temperature kotak pendingin mencapai 17,1 °C dengan COP 0,47, sementara dengan laju aliran 1 LPM COP mencapai 0,56 dengan laju serapan kalor 26,21 watt dengan temperature kotak 21,6 °C.
2	Darwin, dkk (2022)	Melihat kinerja COP TEC pada penambahan modul TEC terhadap dispenser dengan variasi rangkaian TEC (seri dan parallel)	eksperimen	Rangkaian TEC, Δt , COP	Rangkain TEC yang dirangkai secara ganda – seri menghasilkan kinerja terbaik, temperature air lebih dingin hingga mencapai 14 °C dan COP yang lebih optimal yaitu sebesar 0,85285.
3	Mirmanto, dkk (2018)	Pengaruh laju aliran massa air pendingin terhadap kinerja TEC	eksperimen	Δt , daya TEC, Qc, COP	Nilai rata-rata COP untuk pengujian pada laju aliran massa air pendingin 5 g/s sebesar 0,04, 10 g/s sebesar 0,03, dan 15 g/s sebesar 0,04, dengan daya yang hamper sama maka dari ketiga laju aliran massa yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan nilai COP yang hamper sama.
4	Ramadhan, Faiz Aulya, dkk (2019)	Pengaruh laju aliran air terhadap performa pendingin TEC pada <i>cooling box</i>	Eksperimen	Laju aliran, Δt , $\dot{Q}_{ab}$	Laju aliran berpengaruh terhadap temperatur sisi panas dan dingin TEC, semakin kecil laju aliran maka temperature pada sisi dingin dan panas juga akan semakin rendah
5	Midiani, Luh Putu Ike (2013)	Pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan parallel TEC terhadap COP dan Daya	Eksperimen	Konfigurasi TEC (seri dan parallel), COP, daya	<i>Thermoelectric</i> dengan rangkaian seri lebih sesuai untuk menyimpan makanan dan minuman siap konsumsi, dengan daya yang diperlukan lebih kecil yaitu 20-40 watt. <i>Thermoelectric</i> dengan rangkaian parallel sesuai untuk mendinginkan bahan makanan mentah seperti daging atau ikan namun daya yang diperlukan lebih besar yaitu 100-120 watt.

No.	Penulis (Tahun)	Fokus Penelitian	Metode	Variabel Utama	Hasil Penelitian
6	Modi, Himanshu, dkk (2016)	Peningkatan COP TEC dengan modul multistage	Eksperimen	Konfigurasi TEC, Th, Tc, daya	Penelitian ini secara eksperimental mengkaji kinerja modul pendingin udara Thermoelectric Cooler (TEC) satu tahap dan multistage. Pada modul termoelektrik satu tahap, perbedaan temperatur yang signifikan relatif mudah dicapai, namun nilai Coefficient of Performance (COP) yang dihasilkan masih sangat rendah sehingga kurang sesuai untuk penggunaan domestik. Pada modul termoelektrik multistage, nilai COP yang dibutuhkan dapat dicapai disertai dengan kinerja termal yang lebih baik. Keterbatasan utama penggunaan modul termoelektrik multistage adalah harga modul yang relatif tinggi dibandingkan modul satu tahap, sehingga biaya keseluruhan menjadi lebih mahal.
7	Nasruddin, dkk (2020)	Analisis berbagai dimensi kotak pendingin dan jumlah modul TEC dengan Tenaga panel surya	eksperimen	Perubahan temperature, daya input, konfigurasi modul TEC	Kotak pendingin dengan dimensi (10x20x15 cm) dengan satu rangkaian satu <i>thermoelectric</i> dengan tenaga matahari menghasilkan suhu yang optimal mencapai 15 °C dengan menggunakan daya 12 volt.
8	Azuar, Teuku, dkk (2021)	Pengujian kinerja TEC menggunakan <i>heatsink</i> dengan variasi sirip, dan variasi voltasi TEC.	eksperimen	Voltase TEC, Δt , temperature kotak pendingin.	Heatsink dengan sirip type A yang jarang-jarang memiliki kinerja yang lebih optimal dibandingkan heatsink sirip type B yang rapat. Variasi voltase juga sangat berpengaruh terhadap kinerja komponen pendingin tersebut.
9	Faizal, Rizki, dkk (2022)	Analisis kinerja TEC dengan variasi heatsink processor tipe PGA 478, LGA 775, tower dengan variasi kecepatan udara 1,5 m/s, 2 m/s, dan 3 m/s.	eksperimen	Δt , kcepatan udara, COP	Efisiensi system mengalami kenaikan seiring dengan menurunnya temperature udara didalam kotak endingin. Hasil efisiensi tertinggi dihasilkan dengan menggunakan <i>heatsink</i> tower pada kecepatan fluida 3 m/s yakni 5,21 %. Sedangkan hasil efisiensi tertinggi yang dihasilkan <i>heatsink</i> LGA 755, didapatkan pada kecepatan fluida 3 m/s yakni sebesar 0,84 %. Kemudian pada <i>heatsink</i> PGA 478, efisiensi tertinggi sebesar 4,14 % pada kecepatan fluida 3 m/s.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun tempat penelitian ini, akan di laksanakan di Bengkel Bubut dan Las Sudarman, Jl. Mangaan VIII Ps. III, Kel. Mabar Hilir, Kec. Medan Deli, Kota Medan Sumatera Utara. Dan jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir

		Tahun 2024 - 2025																			
No	Nama Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret			
		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

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

3.2.1 Bahan

a. Peltier

Pendingin peltier adalah alat yang digunakan untuk mengubah energi Listrik menjadi kalor dengan menggunakan efek termoelektrik. Jenis efek termoelektrik pada pendingin termoelektrik adalah efek peltier. Komponen pendingin termoelektrik hanya terdiri dari penyerap panas dan pembuang panas. Bagian pembuang panas berperan sebagai pendingin. Pendingin termoelektrik tidak memiliki kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Pendingin peltier ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. Adapun spesifikasi dari peltier pendingin tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 *Thermoelectric coller* (TEC-12706)

Tabel 3. 2 Spesifikasi bagian peltier TEC1-12706

No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Jumlah Unit	2
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. 3 Spesifikasi kinerja peltier TEC1-12706

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. 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. 2 Selang transparan

c. Keran fluida mini

Pada kotak pendingin berbasis TEC, keran berfungsi untuk mengecilkan dan membesarkan laju aliran fluida sesuai yang di butuhkan. Berikut Gambar keran yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3. 3 Keran fluida mini

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. 4 Pompa fluida mini

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

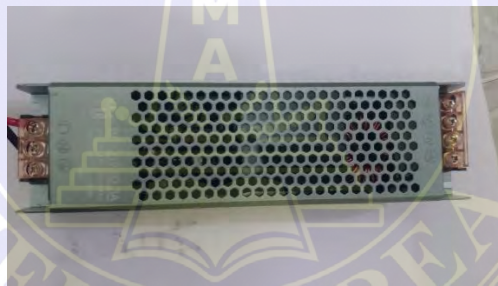
Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa fluida

No.	Kategori	Keterangan
1.	Jumlah Unit	1
2.	Dimensi	(92 x 46 x 35) mm
3.	Material	Plastic ABS

No.	Kategori	Keterangan
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 termoelektrik berfungsi untuk menyediakan energi listrik yang dibutuhkan oleh elemen Peltier agar dapat menghasilkan efek termoelektrik, yang pada gilirannya mendinginkan objek yang diinginkan. Selain itu, *power supply* memastikan stabilitas, keamanan, dan pengaturan daya yang tepat untuk seluruh sistem pendingin, serta menyediakan daya untuk komponen pendukung lainnya. Kinerja yang stabil dan optimal dari *power supply* sangat penting untuk keberhasilan sistem pendinginan termoelektrik.



Gambar 3. 5 *Power Supply*

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

Tabel 3. 5 Spesifikasi *power supply*

No.	Kategori	Keterangan
1.	Dimensi	(20 x 5 x 4,5) cm
2.	<i>Input voltage</i>	AC 100 V - 245 V
3.	<i>Ampere</i>	33,3 A
4.	<i>Output</i>	DC 12 V

f. *Heatsink*

Heatsink pada bagian *cold side* berfungsi sebagai komponen yang membantu proses penyerapan dan penyebaran suhu dingin pada sistem pendingin, terutama pada modul peltier. *Heatsink cold side* berperan penting untuk meningkatkan efisiensi proses penyebaran dan penyerapan kalor pada kotak pendingin.

Gambar 3. 6 *Heatsink*

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

Tabel 3. 6 Spesifikasi *heatsink*

No.	Kategori	Keterangan
1.	Jumlah Unit	2
2.	Dimensi	(70 x 80 x 25) mm

g. *Waterblock*

Waterblock adalah komponen *waterblock* dari sistem *water cooling*. Komponen ini memiliki dua bagian, baik jenis alumunium maupun tembaga, yang di gabungkan menjadi satu untuk membentuk *block* yang di dalamnya terdapat

rongga-rongga tempat bahan cairan mengalir. Bagian ujung dari tiap rongga, memiliki konektor *inlet* maupun *outlet*, sebagai penghubung dengan selang atau juga pipa yang berfungsi mengalirkan bahan pendingin cairan ke seluruh sistem *water cooling* lainnya. Rongga yang terdapat di dalam *waterblok* biasanya berbentuk zig-zag, untuk memungkinkan efektifitas luas permukaan bagi penyaluran panas yang lebih besar. Adapun *waterblock* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3. 7 *Waterblock*

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

Tabel 3. 7 Spesifikasi *waterblock*

No.	Kategori	Keterangan
1.	Jumlah Unit	2
2.	Dimensi	(40 x 40 x 13) mm

h. Air

Air merupakan media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan sisi panas dari TEC dikarenakan semakin cepat sisi panas TEC didinginkan maka, hasil

pendinginan pada sisi dingin TEC akan semakin maksimal. Fluida air yang digunakan pada pengujian ini adalah sebanyak 4 liter.

i. Radiator Coolant

Fluida ini merupakan fluida yang digunakan khusus sebagai cairan pendingin kendaraan. Dalam penelitian ini, fluida ini digunakan sebagai fluida pembanding yang digunakan sebagai pendinginan pada sistem kerja kotak pendingin berbasis *Thermoelectric Cooler*. Radiator Coolant ini yang terbuat dari air murni, pencegah karat dan juga zat anti beku *propylene glycol*. Campuran tersebut mampu menyerap panas dengan lebih baik serta tidak menyebabkan korosi.



Gambar 4. 1 Radiator Coolant

j. Wadah fluida

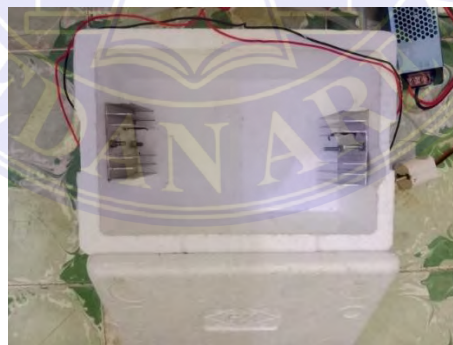
Wadah fluida merupakan wadah yang digunakan sebagai tempat fluida pendingin pada aplikasi sistem pendingin berbasis TEC. Wadah yang digunakan dalam pengujian Adalah wadah jenis plastik dengan kapasitas tampung fluida sebesar 5 liter. Wadah penampung fluida dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3. 8 Wadah tampungan fluida.

k. Kotak Pendingin

Kotak pendingin adalah sebuah wadah yang digunakan untuk menjaga suhu rendah, dengan tujuan untuk mendinginkan atau mempertahankan suhu dingin pada makanan, minuman, atau barang-barang lainnya. Kotak ini sering digunakan untuk aplikasi portabel atau dalam perjalanan, dimana akses kependingin konvensional seperti (kulkas atau *freezer*) terbatas. Kotak pendingin dapat di lihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3. 9 Kotak Pendingin Berbasis TEC

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

Tabel 3. 8 Spesifikasi kotak pendingin

No.	Kategori	Keterangan
1.	Dimensi	(29,5 x 20,5 x 13) cm
2.	Volume kotak pendinginan	(26 x 17 x 18) cm
3.	Material luar	<i>Polystyrene foam</i>

3.2.2 Alat

a. Termokopel

Termokopel adalah sensor suhu yang terdiri dari dua jenis logam berbeda yang ujungnya disambungkan. Ketika sambungan kedua logam tersebut terkena panas/dingin, maka akan timbul beda tegangan listrik (efek Seebeck). Beda tegangan ini sebanding dengan perbedaan suhu pada kedua ujung logam.

Termokopel memberikan data suhu secara *real-time*, yang sangat penting untuk menilai COP dari sistem termoelektrik *cooler*. Perbedaan suhu yang dihasilkan oleh TEC akan menunjukkan seberapa efektif perangkat tersebut dalam mendinginkan satu sisi dan membuang panas ke sisi lainnya. Adapun termokopel yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.10 berikut:



Gambar 3. 10 Termokopel

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

Tabel 3. 9 Spesifikasi termokopel

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

b. Gelas ukur (500 ml)

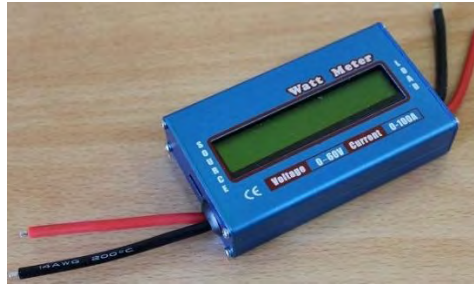
Gelas ukur berfungsi untuk menentukan variasi laju aliran sesuai yang diinginkan. Berikut merupakan gambar gelas ukur yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3. 11 Gelas ukur (500 ml)

c. Wattmeter

Wattmeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur daya listrik yang digunakan dalam suatu rangkaian listrik, baik itu dalam satuan watt (W), yang merupakan hasil perkalian antara tegangan (volt) dan arus (amper) dalam suatu sistem. Wattmeter dapat digunakan untuk mengukur daya aktif (*real power*), yaitu daya yang benar-benar digunakan oleh perangkat listrik, dan biasanya memiliki dua skala pengukuran: daya aktif dan daya reaktif. Adapun wattmeter yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut:

Gambar 3. 12 *Wattmeter*

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu, Penelitian eksperimental dengan melakukan variasi laju aliran dan jenis fluida, kedua faktor ini di uji untuk menemukan faktor yang mempengaruhi penyerapan kalor atau panas pada sisi panas TEC sehingga sisi dingin TEC dapat bekerja dengan optimal.

3.4 Populasi dan Sampel

3.4.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kondisi kinerja sistem kinerja pada kotak pendingin berbasis *Thermoelectric Cooler* (TEC) yang dipengaruhi oleh variasi laju aliran fluida pendingin. Populasi mencakup berbagai kemungkinan variasi laju aliran fluida yang dapat diberikan pada sistem kerja kotak pendingin, baik pada laju aliran fluida rendah, sedang, maupun tinggi. Dengan kata lain, populasi pada penelitian ini adalah semua data performa TEC yang dihasilkan dari pengujian dengan berbagai variasi laju aliran fluida.

3.4.2 Sampel

Adapun sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah fokus pada variasi laju aliran dan jenis fluida, terdapat dua variasi laju aliran ($0,005 \text{ l/s}$, dan $0,012 \text{ l/s}$) dan jenis fluida (air dan radiator *coolant*). Laju aliran ini digunakan untuk

melihat pengaruhnya terhadap variabel terkait berupa *Coefficient Of Performance* (COP) TEC dan kotak pendingin.

Tabel 3. 10 Populasi dan sampel

Jenis Fluida	Volume	Variasi Laju	Beban	Waktu
	Fluida	Aliran Fluida	Pendingin	Pengujian
	(Liter)	(l/s)	(ml)	(menit)
Air	5	0,005	440	60
		0,012		
Radiatori Coolant	5	0,005	440	60
		0,012		

3.5 Prosedur Kerja

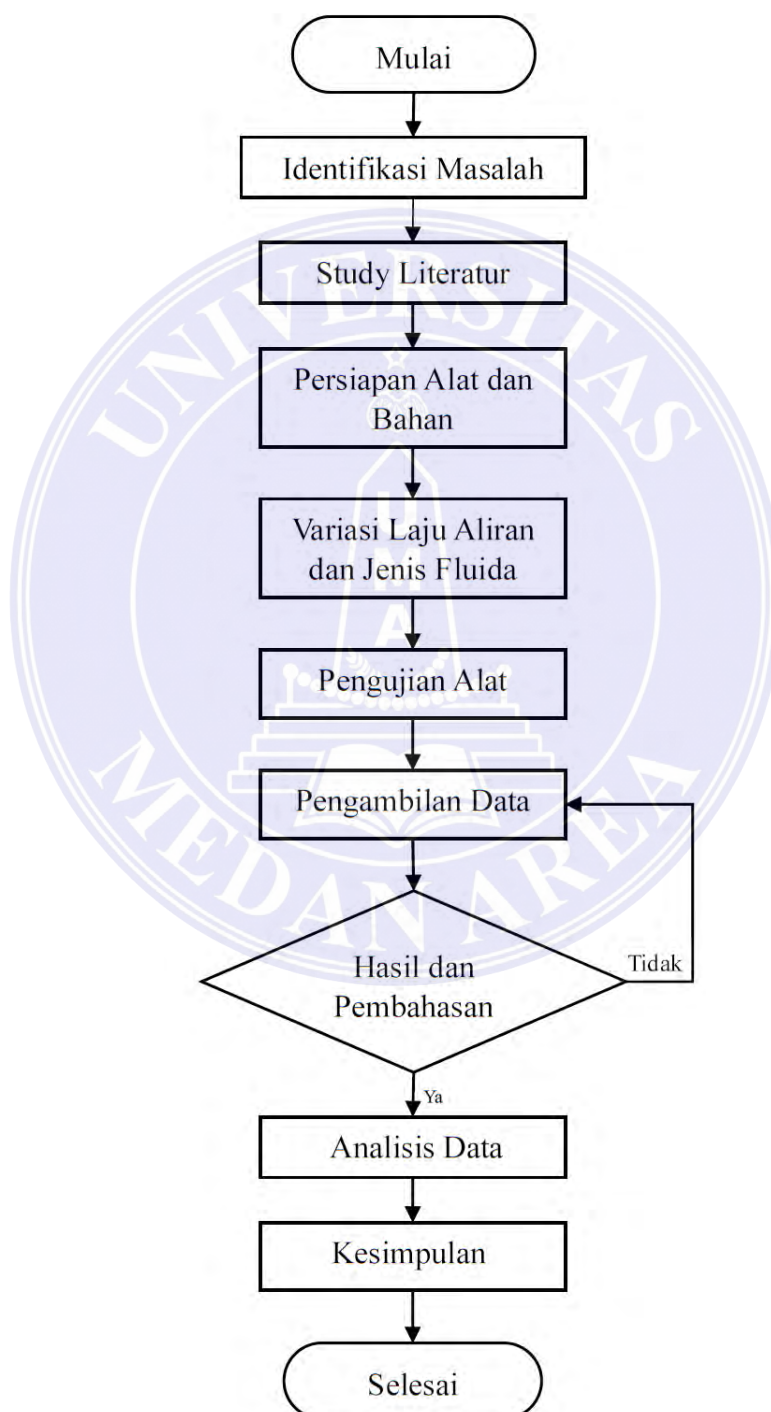
Adapun prosedur kerja atau tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian optimasi laju aliran fluida pada sistem *thermoelectric cooler* (TEC) ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan segala alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dan memeriksa semua keadaan alat dan bahan sebelum melakukan pengujian.
2. Menyiapkan fluida pendingin (air) dalam sebuah wadah sebanyak 4 liter
3. Memasang sensor suhu termokopel tipe K pada bagian yang di butuhkan serta mengaktifkan mode *record* pada termokopel, supaya data yang dibutuhkan terekam secara *real-time*.
4. Pengoperasian alat penelitian yaitu dengan melakukan variasi laju aliran fluida terhadap kotak pendingin termoelektrik.
5. Melakukan analisis data dari hasil pengujian dengan variasi laju aliran fluida pada termoelektrik *cooler* dengan menggunakan.

6. Membuat Kesimpulan dari hasil penelitian variasi laju aliran fluida pada termoelektrik *cooler* yang telah dilakukan.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram berikut:



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan pada BAB IV, maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju aliran fluida $0,012 \text{ l/s}$ dan jenis fluida air memberikan kinerja penyerapan kalor yang lebih baik pada sisi panas *Thermoelectric Cooler* dibandingkan pada penggunaan laju aliran $0,005 \text{ l/s}$ dan jenis fluida *coolant*, sehingga sisi dingin TEC dapat lebih dingin, namun di sisi lain berdampak pada peningkatan daya input TEC yang mengakibatkan kinerja *Thermoelectric Cooler* menurun.
2. Penggunaan jenis fluida dan Variasi laju aliran berpengaruh terhadap kinerja kotak pendingin berbasis *Thermoelectric Cooler* (TEC), kombinasi penggunaan jenis fluida air lebih berpengaruh dibandingkan pada penggunaan Radiator *Coolant*. Dimana pada laju aliran $0,012 \text{ l/s}$ dengan penggunaan jenis fluida air memiliki COP sistem tertinggi yaitu sebesar 0,029, sedangkan pada penggunaan jenis fluida radiator *coolant* memiliki nilai COP sistem sebesar 0,026.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian kotak pendingin berbasis *Thermoelectric Cooler* (TEC), penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya, pengujian kinerja sistem *Thermoelectric Cooler* (TEC) dilakukan dalam pengawasan kondisi yang terkontrol, seperti suhu *ambient* dan suhu fluida, agar pengaruh faktor eksternal terhadap hasil pengujian dapat diminimalkan.

2. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menambahkan *heat exchanger* (HE) pada sistem sirkulasi air pendingin. Hal ini dikarenakan pada sistem pendingin tanpa HE, fluida air yang bersirkulasi akan mengalami peningkatan suhu secara bertahap akibat menerima panas secara terus-menerus dari sisi panas TEC.

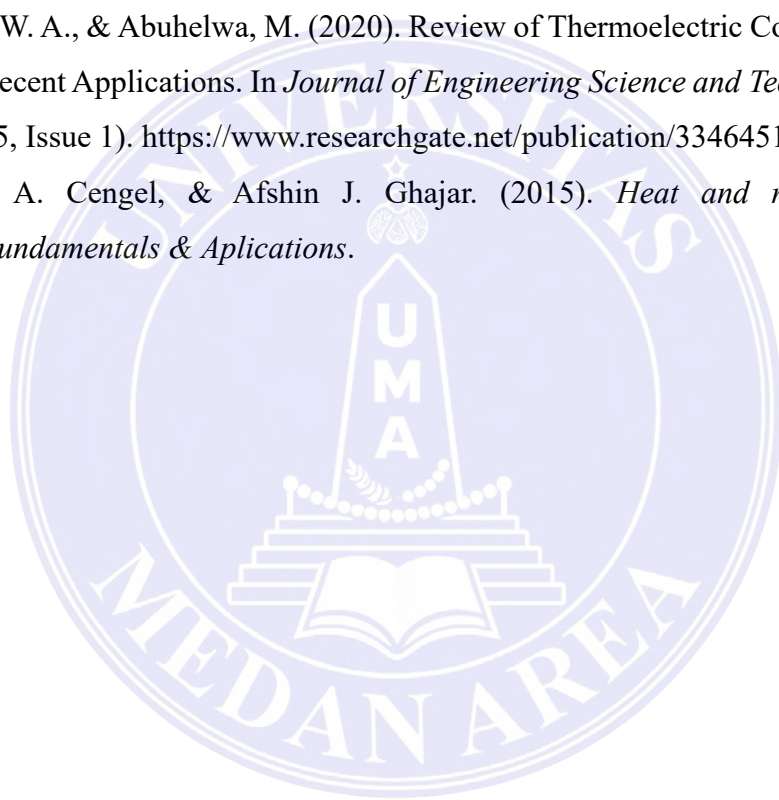


DAFTAR PUSTAKA

- Agus Salim, A. T., & Indarto, B. (2018). Studi Eksperimental Karakterisasi Elemen Termoelektrik Peltier Tipe TEC. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, 3(1), 179–182. <https://doi.org/10.32486/jeecae.v3i1.211>
- Akbar, M., Rizal, T. A., & Syntia, R. (2021). *Pengujian Kinerja Pendinginan Thermo Electric Cooling (Tec) Menggunakan Heatsink Dengan Variasi Dimensi Dan Jenis Material*.
- Alfalah, Y. (2023). Pengaruh Variasi Jumlah TEC Pada Box Pendingin Terhadap Temperatur Dan Tegangan. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 16(1), 24–28. <https://doi.org/10.24843/JEM.2023.v16.i01.p05>
- Alfiansyah, I. (2021). *Studi Eksperimental Modul Thermoelectric Tec-12706 Dan Teg-27145 Sebagai Pendingin Pengganti Refrigeran*.
- Aziz, A., Subroto, J., & Silpana, V. (2015). *Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman (Hal 33-40 Azridjal Aziz, Joko Subroto, Villager Silpana UNRI)*. http://en.wikipedia.org/wiki/Aziz,Joko_Subroto,_Villager_Silpana_UNRI
- 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).
- Baru, S., & Bhatia, S. (2020). A review on thermoelectric cooling technology and its applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/4/042004>
- Bizzy, I. (2022). *Modul Termoelektrik, Teori & Aplikasi* (1st ed.). Noer Fikri Offset.
- Bregman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition*.
- Faizal, R., Agus Sahbana, M., & Risdiyanto Ismail, N. (2022). Analisa Variasi Heatsink Processor Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pendingin Portabel Thermoelectric. *Jurnal SIMETRIS*, 13.
- Fikri, W. (2022). *Rancang Bangun Pendingin Buah Dan Sayur Berbasis Peltier Tec1-12706*.

- Gani, U. A., Taufiqurrahman, M., Studi Teknik Mesin, P., Tanjungpura, U., & Hadari Nawawi, J. H. (2022). *Analisa Coefisien Of Performance (COP) Dengan Dua Modul Termoelektrik Tipe TEC-12705 Pada Pendingin Dispenser* (Vol. 3, Issue 2).
- Gökçek, M., & Şahin, F. (2017). Experimental performance investigation of minichannel water cooled-thermoelectric refrigerator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.03.004>
- Ibrahim, B. I. F., & Setiawan Atok. (2017). *Experimental Study Characteristic And Performance Of Tec (Thermoelectric Cooler) 1-12706*.
- Ilham, R. M., & Pirngadi, H. (2016). *Rancang Bangun Kulkas Portabel Menggunakan Termoelektrik Berbasis Mikrokontroler*.
- J. P. Holman. (2002). *Heat Transfer, Tenth Edition*.
- Komala Putra, D., & Sutanto, R. (2018). *Unjuk kerja kotak pendingin menggunakan termoelektrik dengan variasi laju aliran massa air pendingin*.
- Mainil, A. K., Aziz, A., & Akmal, M. (2018). Portabel Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 7(2), 85–92. <https://doi.org/10.13170/aijst.7.2.8722>
- Marsan, K., & Anwar, K. (2016). *Pengaruh Laju Aliran Fluida Liquid-Cooled Heat Sink Terhadap Unjuk Kerja Sistim Pendingin Termoelektrik*. <https://www.researchgate.net/publication/327307312>
- Merdekawati, Y. I., Samuel Erari, I., & Muslimin, A. M. (2021). *Penggunaan Modul Peltier Sebagai Sistem Pendingin Coolbox* (Vol. 17).
- Mert Cuce, P., Cuce, E., Guclu, T., Shaik, S., Alshahrani, S., & Ahamed Saleel, C. (2022). Effect of using hybrid nanofluids as a coolant on the thermal performance of portabel thermoelectric refrigerators. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102685>
- Mirmanto, M., Syahrul, S., & Wirdan, Y. (2019). Experimental performances of a thermoelectric cooler box with thermoelectric position variations. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(1), 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.09.006>

- Putra, F. C., & Repi, V. Vekky. R. (2015). *Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan Obat-Obatan*.
- Ramadhan, F. A., Kirom, M. R., & Ajiwiguna, T. A. (2019). *Analisis Pengaruh Laju Aliran Air Pada Aplikasi Pendinginan Thermoelectric Cooler Terhadap Cooling Box*.
- Ramdan, G., Mirmanto, & Nurpatria. (2016). *Sistem Pendingin Pada Kulkas Termoelektrik Dengan Variasi Pembebanan*.
- Rompas, P. T. D. (2012). *Perpindahan Kalor*.
- Salah, W. A., & Abuhelwa, M. (2020). Review of Thermoelectric Cooling Devices Recent Applications. In *Journal of Engineering Science and Technology* (Vol. 15, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/334645185>
- Yunus A. Cengel, & Afshin J. Ghajar. (2015). *Heat and mass transfer, Fundamentals & Applications*.



TERLAMPIR I: Data Penelitian

Tabel 4. 4 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran air 0,005 l/s

Waktu	T_c	T_h	T-box	T-ambient
0	28,9	29,5	30,1	31,6
1	25,6	45,9	29,7	31,5
2	22,2	45,5	29,1	31,5
3	20,1	45,1	28,5	31,3
4	18,2	44,8	28	31,3
5	17,3	44,6	27,6	31,3
6	16,2	44,4	27,3	31,3
7	15,5	44,8	26,9	31,4
8	14,8	44,7	26,8	31,3
9	14,6	44,7	26,6	31,4
10	14,4	44,7	26,4	31,5
11	13,8	44,5	26,3	31,2
12	13,7	44,6	26,1	31,2
13	13,5	44,5	26	31,3
14	13,4	44,6	25,9	31,2
15	13,3	44,6	25,8	31,4
16	13,2	44,7	25,7	31,3
17	13,2	44,8	25,7	31,5
18	13,2	44,9	25,7	31,3
19	13,1	44,9	25,6	31,2
20	13,1	44,9	25,6	31,1
21	13,2	45,1	25,6	30,9
22	13,2	45,1	25,6	31,1
23	13,3	45,1	25,5	31,3
24	13,3	45,2	25,5	31,1
25	13,3	45,3	25,5	31,1
26	13,4	45,3	25,3	31,3
27	13,4	45,5	25,2	31,2
28	13,4	45,6	25,2	30,9
29	13,4	45,8	25,1	31
30	13,4	45,7	25,1	31,5
31	13,4	45,8	25,1	31,3
32	13,4	45,9	25,1	31,4
33	13,4	45,9	25	31,2
34	13,5	46	24,9	31,4
35	13,5	45,8	24,9	31,4
36	13,5	45,9	24,9	31,4
37	13,5	46	24,8	31,4
38	13,5	46	24,8	31,2
39	13,5	46	24,8	31,3
40	13,5	45,9	24,8	31,2

Waktu	T _c	T _h	T-box	T-ambient
41	13,5	45,8	24,7	31,1
42	13,4	45,9	24,7	31,1
43	13,4	46	24,7	31
44	13,5	45,9	24,8	30,9
45	13,5	45,9	24,8	30,9
46	13,5	46	24,8	30,9
47	13,6	46,1	24,7	31,1
48	13,6	46,2	24,6	31,3
49	13,5	46,1	24,6	31,2
50	13,5	46,2	24,5	31,3
51	13,5	46,2	24,5	31,3
52	13,5	46,2	24,4	31,3
53	13,4	46,3	24,6	31,1
54	13,4	46,3	24,6	31
55	13,4	46,4	24,6	31,7
56	13,4	46,5	24,6	31,4
57	13,4	46,5	24,6	31,2
58	13,5	46,4	24,6	31
59	13,6	46,6	24,6	31,1
60	13,6	46,5	24,6	31,1

Tabel 4. 5 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran air 0,012 l/s

Waktu	T _c	T _h	T-box	T-ambient
0	28,8	30,4	29,6	30,9
1	23,3	43,9	28,9	30,9
2	20	43,4	27,9	31
3	17,6	43,3	27	31
4	15,8	42,6	26,3	31
5	14,2	42,9	25,6	31
6	13,3	42,2	25,2	31,1
7	12,6	42,3	24	31,1
8	12	42	24	31
9	11,6	42,1	23,9	31
10	11,3	42,3	23,7	31
11	11,1	42,4	23,5	31
12	10,8	42,2	23,3	31
13	10,6	42,1	23,2	30,9
14	10,7	42,3	23,2	30,8
15	10,5	42,3	23,2	30,8
16	10,4	42,4	23	30,7
17	10,4	42,6	22,8	30,6
18	10,3	42,6	22,6	30,8
19	10,4	42,8	22,7	30,8

Waktu	T _c	T _h	T-box	T-ambient
20	10,4	42,9	22,6	30,7
21	10,4	43	22,5	30,9
22	10,4	42,9	22,7	30,8
23	10,4	43	22,7	30,9
24	10,4	42,9	22,5	30,8
25	10,4	43	22,5	30,8
26	10,4	43	22,5	30,7
27	10,4	43,2	22,3	30,7
28	10,4	43,1	22,4	30,7
29	10,5	43,2	22,4	30,7
30	10,4	43,2	22,3	30,7
31	10,4	43,3	22,3	30,7
32	10,4	43,1	22,3	30,6
33	10,3	43,2	22,2	30,6
34	10,3	43,2	22,1	30,6
35	10,3	43,2	22,1	30,6
36	10,3	43,1	22,1	30,6
37	10,2	43,2	22	30,7
38	10,2	43,2	22	30,7
39	10,2	43	22	30,7
40	10,1	43,1	21,9	30,6
41	10,1	43,2	21,9	30,6
42	10,1	43,2	21,9	30,7
43	10,1	43,3	21,9	30,6
44	10,3	43,4	21,9	30,7
45	10,3	43,3	21,9	30,6
46	10,3	43,4	21,9	30,6
47	10,3	43,4	21,9	30,6
48	10,4	43,5	21,8	30,5
49	10,4	43,7	21,8	30,6
50	10,5	43,8	21,7	30,6
51	10,5	43,9	21,7	30,6
52	10,5	43,9	21,7	30,7
53	10,5	43,8	21,6	30,5
54	10,5	43,8	21,6	30,5
55	10,5	44	21,6	30,5
56	10,5	43,9	21,7	30,6
57	10,5	43,9	21,6	30,6
58	10,5	43,8	21,6	30,6
59	10,5	43,8	21,5	30,6
60	10,5	43,9	21,5	30,6

Tabel 4. 6 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran *coolant* 0,005 l/s

Waktu	T _c	T _h	T-box	T-ambient
0	29,8	29,9	30,1	31,6
1	26,7	47,2	29,9	31,2
2	23,4	46,8	29,4	31,1
3	21,9	46,5	28,6	31,4
4	20,4	46,2	28,4	31,4
5	19,4	46,1	28,3	31,4
6	18,7	46,1	28,1	31,3
7	17,6	46	28,1	31,4
8	16,7	45,9	27,9	31,5
9	16,3	46	27,8	31,6
10	15,8	45,9	27,7	31,6
11	15,5	45,9	27,6	31,5
12	15,4	45,9	27,5	31,6
13	15,3	45,9	27,4	31,6
14	15,2	46,1	27,3	31,7
15	15	46,2	27,3	31,6
16	15	46,2	27,2	31,6
17	14,9	46,1	27,1	31,5
18	14,9	46,2	27,1	31,6
19	14,9	46,3	27	31,6
20	14,9	46,4	26,9	31,7
21	15	46,5	27	31,6
22	15	46,6	26,9	31,6
23	14,9	46,6	26,8	31,6
24	15	46,7	26,7	31,6
25	15	46,7	26,7	31,7
26	15,1	46,7	26,7	31,6
27	15	46,9	26,8	31,7
28	15	46,9	26,6	31,7
29	15	46,9	26,4	31,6
30	14,9	46,9	26,8	31,7
31	15	46,9	26,8	31,7
32	15	46,9	26,7	31,5
33	15	46,9	26,7	31,7
34	15	47	26,6	31,4
35	15	47	26,6	31,6
36	15	47	26,5	31,7
37	15	47	26,4	31,7
38	14,9	47,1	26,4	31,7
39	14,9	47,1	26,4	31,6
40	14,9	47,2	26,3	31,7
41	14,9	47,2	26,3	31,7
42	14,9	47,2	26,3	31,7

Waktu	T _c	T _h	T-box	T-ambient
43	14,9	47,3	26,3	31,7
44	15	47,4	26,2	31,7
45	15,1	47,4	26,1	31,7
46	15,1	47,5	26,1	31,7
47	15,1	47,5	26,1	31,8
48	15,1	47,5	26	31,7
49	15,1	47,4	26	31,7
50	15,1	47,5	26	31,7
51	15,1	47,4	25,9	31,8
52	15,1	47,4	26	31,7
53	15,1	47,4	26	31,7
54	15,2	47,5	26	31,6
55	15,1	47,6	25,9	31,7
56	15,2	47,5	25,9	31,7
57	15,3	47,6	25,8	31,6
58	15,3	47,7	25,9	31,6
59	15,3	47,7	25,9	31,6
60	15,3	47,8	25,8	31,7

Tabel 4. 7 Data hasil pengujian kotak pendingin pada laju aliran *coolant* 0,012 l/s

Waktu	T _c	T _h	T-box	T-ambient
0	28,1	30,2	30,1	31,8
1	23,8	44,2	29,5	31,8
2	21,1	44,1	28,7	31,8
3	18,7	44	28	31,5
4	17	43,8	27,2	31,8
5	15,6	43,6	26,6	31,8
6	14,7	43,3	26,1	31,8
7	14	43,3	25,7	31,7
8	13,4	43,3	25,5	31,8
9	13	43,3	25,3	31,8
10	12,5	43,4	25,1	31,7
11	12,4	43,5	24,9	31,7
12	12,2	43,5	24,6	31,9
13	12,1	43,7	24,6	31,9
14	12	43,7	24,6	31,7
15	11,8	43,7	24,4	31,8
16	11,8	43,7	24,4	31,8
17	11,7	43,8	24,3	32
18	11,6	43,9	24,2	32
19	11,7	43,9	24,1	31,9
20	11,7	44	24,1	31,9
21	11,7	44,1	24	31,8
22	11,7	44,1	24	31,7

Waktu	T _c	T _h	T _{box}	T _{ambient}
23	11,7	44,1	24	31,6
24	11,7	44,1	23,9	31,8
25	11,7	44	23,9	31,5
26	11,6	44	23,9	31,4
27	11,7	44,2	23,8	31,4
28	11,7	44,3	23,8	31,5
29	11,8	44,3	23,8	31,5
30	11,9	44,5	23,8	31,8
31	11,9	44,6	23,8	31,7
32	11,8	44,5	23,7	31,6
33	11,8	44,6	23,6	31,7
34	11,8	44,6	23,6	31,8
35	11,7	44,5	23,6	31,6
36	11,8	44,7	23,6	31,6
37	11,7	44,7	23,6	31,6
38	11,7	44,7	23,6	31,6
39	11,7	44,7	23,5	31,2
40	11,7	44,6	23,5	31,6
41	11,7	44,8	23,5	31,8
42	11,6	44,7	23,5	31,7
43	11,7	44,6	23,5	31,6
44	11,8	44,8	23,4	31,6
45	11,9	44,8	23,4	31,7
46	11,9	44,9	23,4	31,7
47	11,9	44,8	23,4	31,7
48	11,9	44,9	23,3	31,8
49	11,9	45	23,3	31,7
50	11,8	45	23,2	31,7
51	11,9	44,8	23,2	31,5
52	11,9	44,9	23,2	31,6
53	11,9	44,8	23,2	31,7
54	12	45	23,2	31,6
55	11,9	45	23,2	31,6
56	11,9	45	23,2	31,7
57	11,9	45	23,1	31,5
58	11,9	45	23,1	31,7
59	11,9	44,9	23,1	31,7
60	11,9	44,9	23,1	30,2

TERLAMPIR II: Nilai COP (*Coefficient Of Performance*)

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan COP

Waktu	COP Air Q1	COP Air Q2	COP Coolant Q1	COP Coolant Q2
1	0,76	0,74	0,76	0,75
2	0,70	0,69	0,71	0,70
3	0,67	0,65	0,68	0,66
4	0,63	0,62	0,66	0,63
5	0,62	0,59	0,64	0,60
6	0,60	0,58	0,62	0,59
7	0,58	0,57	0,60	0,58
8	0,57	0,56	0,59	0,57
9	0,57	0,55	0,58	0,56
10	0,56	0,54	0,57	0,55
11	0,55	0,54	0,56	0,54
12	0,55	0,53	0,56	0,54
13	0,55	0,53	0,56	0,54
14	0,54	0,53	0,55	0,53
15	0,54	0,53	0,55	0,53
16	0,54	0,52	0,55	0,53
17	0,54	0,52	0,55	0,53
18	0,54	0,52	0,55	0,52
19	0,53	0,52	0,55	0,53
20	0,53	0,52	0,54	0,52
21	0,53	0,52	0,54	0,52
22	0,53	0,52	0,54	0,52
23	0,54	0,52	0,54	0,52
24	0,53	0,52	0,54	0,52
25	0,53	0,52	0,54	0,52
26	0,54	0,52	0,54	0,52
27	0,53	0,51	0,54	0,52
28	0,53	0,51	0,54	0,52
29	0,53	0,52	0,54	0,52
30	0,53	0,51	0,54	0,52
31	0,53	0,51	0,54	0,52
32	0,53	0,51	0,54	0,52
33	0,53	0,51	0,54	0,52
34	0,53	0,51	0,54	0,52
35	0,53	0,51	0,54	0,52
36	0,53	0,51	0,54	0,52
37	0,53	0,51	0,54	0,52
38	0,53	0,51	0,53	0,52
39	0,53	0,51	0,53	0,52
40	0,53	0,51	0,53	0,52
41	0,53	0,51	0,53	0,51

Waktu	COP Air Q1	COP Air Q2	COP Coolant Q1	COP Coolant Q2
42	0,53	0,51	0,53	0,51
43	0,53	0,51	0,53	0,52
44	0,53	0,51	0,53	0,52
45	0,53	0,51	0,53	0,52
46	0,53	0,51	0,53	0,52
47	0,53	0,51	0,53	0,52
48	0,53	0,51	0,53	0,52
49	0,53	0,51	0,53	0,52
50	0,53	0,51	0,53	0,51
51	0,53	0,51	0,53	0,52
52	0,53	0,51	0,53	0,52
53	0,52	0,51	0,53	0,52
54	0,52	0,51	0,54	0,52
55	0,52	0,51	0,53	0,52
56	0,52	0,51	0,54	0,52
57	0,52	0,51	0,54	0,52
58	0,52	0,51	0,53	0,52
59	0,52	0,51	0,53	0,52
60	0,52	0,51	0,53	0,52