

UJI EKSPERIMENTAL KOTAK PENDINGIN TERMoelekTRIK BERBASIS TENAGA SURYA

SKRIPSI

OLEH:

**EKLESIA JAYA SITUMORANG
218130082**



**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 5/8/26

Access From (repository.uma.ac.id)5/8/26

HALAMAN JUDUL

UJI EKSPERIMENTAL KOTAK PENDINGIN TERMOELEKTRIK BERBASIS TENAGA SURYA

SKRIPSI

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

OLEH:
EKLESIA JAYA SITUMORANG
218130082

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN
2026

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Proposal : Uji Eksperimental Kotak Pendingin Termoelektrik Berbasis Tenaga Surya
Nama Mahasiswa : Ekleisia Jaya Situmorang
NIM : 218130082
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, 15 April 2026



Ekleisia Jaya Situmorang

NPM: 218130082

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

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

Nama : Ekleisia Jaya Situmorang
NPM : 218130082
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

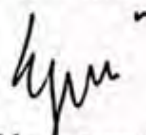
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada
Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-
Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: **"UJI EKSPERIMENTAL
KOTAK PENDINGIN TERMOELEKTRIK BERBASIS TENAGA SURYA"**

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 : 15 April 2026

Yang menyatakan :



(Ekleisia Jaya Situmorang)

NPM: 218130082

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pendinginan portabel yang ramah lingkungan menjadi kebutuhan penting, terutama untuk menjaga kualitas makanan dan minuman pada kondisi mobilitas tinggi. Umumnya, sistem pendingin konvensional masih menggunakan refrigeran berbasis CFC yang berdampak negatif terhadap lingkungan serta membutuhkan daya listrik yang relatif besar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji eksperimental pada kotak pendingin termoelektrik berbasis tenaga surya sebagai alternatif sistem pendingin portabel yang hemat energi dan ramah lingkungan.

Kotak pendingin menggunakan modul termoelektrik tipe TEC1-12706 sebagai elemen pendingin utama, dengan sumber energi berasal dari panel surya yang disimpan pada baterai. Pengujian dilakukan selama tiga hari, yaitu pada tanggal 12–14 Agustus 2025, dengan parameter pengamatan meliputi temperatur ruang dalam kotak pendingin, temperatur spesimen (air mineral kemasan), temperatur lingkungan, intensitas radiasi matahari, serta laju perpindahan panas yang terjadi. Analisis perpindahan panas meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi, serta perhitungan performansi sistem melalui nilai *Coefficient of Performance* (COP).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kotak pendingin termoelektrik berbasis tenaga surya mampu menurunkan dan mempertahankan temperatur di dalam kotak pendingin secara stabil. Nilai perpindahan panas yang terjadi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan intensitas radiasi matahari, sementara performansi sistem pendingin menunjukkan bahwa penggunaan energi surya dapat mendukung kinerja pendinginan secara efektif. Dengan demikian, kotak pendingin termoelektrik berbasis tenaga surya berpotensi menjadi solusi pendingin portabel yang efisien, sederhana, dan ramah lingkungan.

Kata kunci: termoelektrik, kotak pendingin, tenaga surya, perpindahan panas, COP.

ABSTRACT

The development of environmentally friendly portable cooling technology has become increasingly important, particularly to maintain the quality of food and beverages under high mobility conditions. Conventional cooling systems generally still use CFC-based refrigerants, which have negative environmental impacts and require relatively high electrical power.

Therefore, this study aims to conduct an experimental investigation of a solar-powered thermoelectric cooler box as an alternative portable cooling system that is energy-efficient and environmentally friendly.

The cooler box utilizes a TEC1-12706 thermoelectric module as the main cooling element, with electrical energy supplied by a solar panel and stored in a battery. The experimental tests were conducted for three days, from August 12 to August 14, 2025. The observed parameters included the internal temperature of the cooler box, the specimen temperature (bottled mineral water), ambient temperature, solar radiation intensity, and the rate of heat transfer. Heat transfer analysis was carried out through conduction, convection, and radiation, and system performance was evaluated using the Coefficient of Performance (COP).

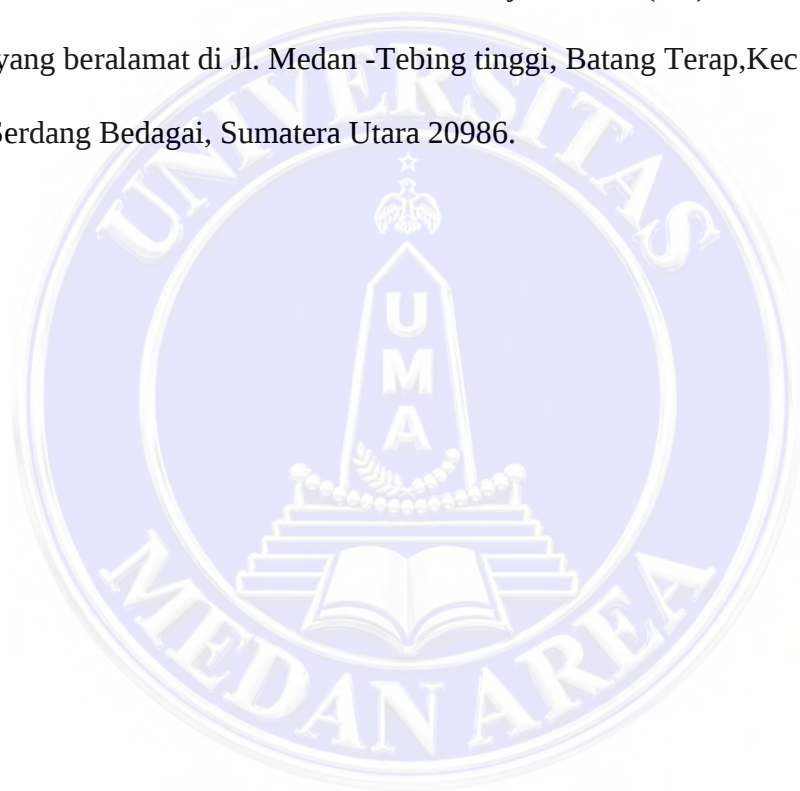
The results indicate that the solar-powered thermoelectric cooler box is capable of reducing and maintaining the internal temperature at a stable level. The heat transfer rate is influenced by environmental conditions and solar radiation intensity, while the cooling system performance demonstrates that solar energy can effectively support the cooling process. Therefore, the solar-powered thermoelectric cooler box has strong potential as an efficient, simple, and environmentally friendly portable cooling solution.

Keywords: thermoelectric, cooler box, solar energy, heat transfer, COP.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sorkam, Kec.Sorkam,Kab.Tapanuli Tengah, pada tanggal 27 Januari 2001 dari Ayah Tunggu Situmorang dan Ibunda Sryna Esra Silaban. Penulis merupakan anak keriga dari empat bersaudara.

Pada tahun 2018 penulis lulus dari SMA NEGERI 1 TUKKA dan pada tahun 2021 penulis melanjutkan Pendidikan sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin di Universitas Medan Area .Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PTPN IV KEBUN ADOLINA yang beralamat di Jl. Medan -Tebing tinggi, Batang Terap,Kec Perbaungan , Kabupaten Serdang Bedagai, Sumatera Utara 20986.



KATAPENGANTAR

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 (Tunggu Situmorang dan Sryna Esra Silaban) 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 menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan dimasa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, pembaca, serta pihak-pihak yang berkepentingan. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga Tuhan Yang maha Esa senantiasa memberikan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua.

Penulis



**Ekleisia Jaya Situmorang
218130082**



x

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 5/8/26

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

Access From (repository.uma.ac.id)5/8/26

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATAPENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTA.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Hipotesis Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pendingin Termoelektrik.....	4
2.2 Sejarah Penemuan Termoelektrik	5
2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik.....	6
2.4 Efek Termoelektrik	7
2.4.1 Efek Seebeck.....	8
2.4.2 Efek Peltier.....	8
2.4.3 Efek Thomson.....	8
2.4.4 Efek Joulean.....	9
2.4.5 Efek Konduksi	9
2.5 Peredam Panas	9
2.6 Fotovoltaik	12
2.6.1 Efek fotovoltaik	14

2.6.2 Sel Fotovoltaik (Photovoltaic/PV)	15
2.6.3 Efisiensi Energi Fotovoltaik (Photovoltaic / PV).....	17
2.6.4 Penggunaan Daya dari Fotovoltaik	19
2.7 Mekanisme Konversi Energi.....	19
2.8 Perpindahan Panas/Kalor	21
2.8.1 Perpindahan Panas konduksi.....	21
2.8.2 Perpindahan Panas Konveksi	24
2.8.3 Perpindahan Panas Konveksi Bebas	25
2.8.4 Perpindahan Panas Konveksi Paksa.....	27
2.8.5 Perpindahan Panas Radiasi	28
2.9 Laju Aliran <i>Fluida</i>	30
2.9.1 Aliran Laminar	30
2.9.2 Aliran Transisi.....	31
2.9.3 Aliran Trubulen.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	33
3.1.1 Tempat Penelitian.....	33
3.1.2 Waktu penelitian	33
3.2 Peralatan dan Bahan.....	34
3.2.1 Peralatan.....	34
3.2.2 Alat.....	42
3.3 Metode Penelitian	47
3.4 Populasi dan Sampel.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Data Hasil Pengujian dan Analisa Data	51
4.2 Pembahasan Hasil	52
4.2.1 Pembahasan Data Pengujian dari Data aquisisi	52
4.2.2 Pengujian tanggal 12 agustus- 14 agustus 2025.....	54
4.3 Perhitungan Pada Modul Fotovoltaik.....	57
4.4 Perhitungan Beban Pendinginan Pada Kotak Pendingin.....	60
4.4.1 Perhitungan Panas Eksternal	60
4.4.2 Perpindahan Panas Internal	80
4.5 Perhitungan Panas total didalam kotak pendingin	87
4.6 COP (<i>Coefficient Of Performance</i>) Kotak Pendingin	87

BAB V SIMPULAN DAN SARAN	89
5.1 Simpulan	89
5.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	91



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Konduktivitas termal material.....	23
Tabel 2. 2 Emisivitas Termal Material	29
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir	33
Tabel 3. 2 Spesifikasi bagian peltier TEC1-12706	34
Tabel 3. 3 Spesifikasi kotak pendingin.....	35
Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa <i>fluida</i>	37
Tabel 3. 5 Spesifikasi <i>power supply</i>	38
Tabel 3. 6 Spesifikasi kipas	39
Tabel 3. 7 Spesifikasi termokopel	43
Tabel 3. 8 Populasi dan sampel	48
Tabel 4. 1 Data yang diperoleh selama pengujian (12-14 agustus 2025).....	51
Tabel 4. 2 Data temperature selama pengujian 12 agustus-14 agustus 2025.....	51
Tabel 4. 3 Spesifikasi Modul Fotovoltaik	57
Tabel 4. 4 Data-data kotak pendingin.....	61
Tabel 4. 5 laju perpindahan panas konduksi selama pengujian.....	65
Tabel 4. 6 Data propertis udara suhu rata-rata 31°C	68
Tabel 4. 7 Laju perpindahan panas konveksi selama pengujian.....	71
Tabel 4. 8 Data propertis udara pada suhu rata-rata 32,550C	73
Tabel 4. 9 Laju perpindahan panas konveksi paksa selama pengujian.....	75
Tabel 4. 10 perpindahan panas radiasi selama pengujian.....	79
Tabel 4. 11 data beban pendingin.....	80
Tabel 4. 12 Data propertis udara suhu rata-rata 24,30C	82
Tabel 4. 13 Data propertis udara suhu rata-rata 24,20C	83
Tabel 4. 14 Data propertis udara suhu rata-rata 24,050C	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Modul Termoelektik	4
Gambar 2. 2 Sistem Kerja Peltier	6
Gambar 2. 3 Arah Elektron pada Modul Elemen Peltier	7
Gambar 2. 4 <i>Extrud Heat Sink</i>	10
Gambar 2. 5 <i>Folded Heat Sink</i>	10
Gambar 2. 6 <i>Cold Forged Heatsink</i>	11
Gambar 2. 7 <i>WaterBlock</i>	12
Gambar 2. 8 Modul fotovoltaik	13
Gambar 2. 9 <i>Pn-junction</i> Mekanisme kerja divais sel Fotovoltaik	14
Gambar 2. 10 Sel Fotovoltaik Jenis <i>Monokristal</i>	16
Gambar 2. 11 Sel Fotovoltaik Jenis <i>Polikristal</i>	16
Gambar 2. 12 Sel Fotovoltaik jenis <i>Thin Film Solar</i> (TFSC)	17
Gambar 2. 13 Mekanisme Konversi Energi	20
Gambar 2. 14 Skema perpindahan panas konduksi	22
Gambar 2. 15 Aliran Laminar	31
Gambar 2. 16 Aliran Transisi	31
Gambar 2. 17 Aliran Trubulen	32
Gambar 3. 1 Peltier	34
Gambar 3. 2 Kotak pendingin	35
Gambar 3. 3 Selang transparan	36
Gambar 3. 4 Pompa <i>fluida</i>	37
Gambar 3. 5 <i>Power Supply</i>	38
Gambar 3. 6 Kipas	39
Gambar 3. 7 <i>Heatsink</i>	40
Gambar 3. 8 Panel Surya	40

Gambar 3. 9 <i>Waterblock</i>	41
Gambar 3. 10 Wadah <i>Fluida</i>	42
Gambar 3. 11 Termokopel data logger	42
Gambar 3. 12 <i>Watt Meter</i>	44
Gambar 3. 13 Gelas Ukur (500 ml).....	44
Gambar 3. 14 Laptop Asus.....	45
Gambar 3. 15 Modul UPS DC.....	46
Gambar 3. 16 Pyranometer.....	46
Gambar 3. 17 Diagram Alir Penelitian.....	50
Gambar 4. 1. Gambar peletakan <i>Chanel</i> termokopel pada kotak pendingin	52
Gambar 4. 2 Grafik Temperatur lingkungan 12-14 agustus 2025	53
Gambar 4. 3 Radiasi matahari tanggal 12-14 agustus 2025	53
Gambar 4. 4 Grafik temperatur pada tanggal 12 Agustus 2025	54
Gambar 4. 5 Grafik temperature pada tanggal 13 Agustus 2025.....	55
Gambar 4. 6 Grafik temperature pada tanggal 14 Agustus 2025.....	56
Gambar 4. 7 Mekanisme Konduksi Pada Kotak Pendingin	62
Gambar 4. 8 Grafik laju konduksi 14 Agustus 2025	66
Gambar 4. 9 Mekanisme konveksi pada kotak pendingin.....	67
Gambar 4. 10 Grafik laju konveksi bebas 14 Agustus 2025	72
Gambar 4. 11 Skema mekanisme konveksi paksa pada kotak pendingin	73
Gambar 4. 12 Grafik laju konveksi paksa 14 Agustus 2025	76
Gambar 4. 13 Mekanisme perpindahan panas radiasi pada kotak pendingin	77
Gambar 4. 14 Grafik laju perpindahan panas Radiasi tanggal 14 Agustus 2025 ...	80

DAFTAR LAMPIRAN



DAFTAR NOTASI

A	= Luas permukaan perpindahan panas (m^2)
A_{pv}	= Luas permukaan modul fotovoltaik (m^2)
B	= Koefisien muai termal ($1/K$)
C_p	= Kalor jenis pada tekanan tetap ($J/kg \cdot K$)
COP	= Coefficient of Performance (–)
E	= Emisivitas permukaan material (–)
FF	= <i>Fill Factor</i> panel surya (–)
G	= Percepatan gravitasi (m/s^2)
G	= Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)
I	= Arus listrik (A)
I_{sc}	= Arus hubung singkat panel surya (A)
K	= Konduktivitas termal material ($W/m \cdot K$)
L	= Panjang karakteristik atau tebal material (m)
M	= Massa benda atau <i>fluida</i> (kg)
Nu	= Bilangan Nusselt (–)
P	= Daya listrik (W)
P_{in}	= Daya <i>input</i> (W)
P_{out}	= Daya <i>output</i> (W)
Pr	= Bilangan Prandtl (–)
Q	= Laju perpindahan panas (W)
$q_{(cond)}$	= Laju perpindahan panas konduksi (W)
$q_{(conv)}$	= Laju perpindahan panas konveksi (W)
$q_{(rad)}$	= Laju perpindahan panas radiasi (W)
Ra	= Bilangan Rayleigh (–)
Re	= Bilangan Reynolds (–)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa sekarang ini mesin pendingin (kulkas) khususnya pendingin makanan dan minuman masih berukuran besar, baik yang sudah dalam bentuk portabel seperti saat ini. Sehingga masih menyulitkan untuk dibawa kemana-mana, karena terdiri dari komponen yang berukuran besar dan berat. Selain itu Sebagian besar dari mesin pendingin yang ada saat ini masih menggunakan refrigeran yang mengandung *CFC* sehingga tidak ramah lingkungan. Oleh sebab itu diperlukan mesin pendingin murah dengan ukuran yang minimalis, dan daya yang kecil serta ramah lingkungan, untuk spesifikasi alat seperti itu dapat dipenuhi dengan mesin pendingin termoelektrik (kulkas termoelektrik) (Mirmanto, R. Sutanto, 2018).

Kotak pendingin ini juga merupakan pengembangan dari penelitian yang sebelumnya sudah dilakukan di Departemen Teknik Mesin USU yaitu oleh Bherton Cristopel dengan judul (Uji Eksperimental Kotak Pendingin Termoelektrik Berbasis Tenaga Surya Dengan Menggunakan Arus Listrik Panel Surya) (Christopel, 2020).

Dan dalam penelitian ini kotak pendingin di desain dengan sederhana sehingga memungkinkan untuk dapat dibawa kemana-mana, sumber energi yang digunakan pada alat ini bersumber dari baterai yang dihubungkan ke fotovoltaiik serta Pendingin di sisi panas peltier menggunakan *Heat Sink* dan *Fan* dan dibagian dalam kotak di sisi penyerapan kalor diberi *fan* agar sirkulasi udara dingin didalam kotak dapat merata serta mempercepat proses penyerapan kalor. Dan diharapkan

hasil penelitian ini dapat lebih baik dari pada sebelumnya. Lebih spesifik desain dan inovasi pada penelitian ini dapat dilihat pada BAB III.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik untuk mengoperasikan kotak pendingin berbasis tenaga surya agar dapat bekerja secara optimal dalam berbagai kondisi cuaca?
2. Bagaimana menghitung nilai-nilai perpindahan panas pada kotak pendingin
3. Bagaimana mencari performansi dari kotak pendingin

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui temperature objek pengujian (air mineral kemasan) yang dapat dicapai dari kotak pendingin.
2. Mengetahui nilai-nilai perpindahan panas pada kotak pendingin yang terjadi selama pengujian.
3. Mengetahui kemampuan alat dari kotak pendingin selama pengujian.

1.4 Hipotesis Penelitian

Variasi laju aliran *fluida* terhadap ssistem pendinginan TEC secara signifikan mempengaruhi kinerja *thermoelectric cooler*, di mana terdapat laju aliran optimal yang menghasilkan efisiensi maksimum. Hipotesis ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara laju aliran dan kinerja termoelektrik *cooler*, dengan harapan menemukan parameter optimal yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas system pendinginan

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan alterternatif alat pendingin portabel yang sederhana untuk masyarakat
2. Memberikan alat pendingin yang ramah lingkungan
3. Memaksimalkan penggunaan energi surya
4. Diskusi, berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing yang ditunjuk oleh Departemen Teknik Mesin Universitas Medan Area

1.6 Batasan Masalah

1. Perhitungan hanya dibatasi pada perpindahan panas ideal yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi, radiasi
2. Temperatur disetiap lapisan permukaan kotak diasumsikan terdistribusi merata
3. Temperatur permukaan kotak diasumsikan sama disemua sisinya
4. Nilai performansi alat yang dihitung dalam penelitian ini adalah pada kotak pendingin

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendingin Termoelektrik

Pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) adalah alat pendingin yang menggunakan elemen peltier dalam sistemnya sebagai pompa kalor (Putra and Repi, 2019). Pendingin Termoelektrik atau yang biasa disebut juga elemen peltier penggunaannya masih terbatas, sistem kerja dari peltier ini adalah Ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe P yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dan semi konduktor yang tipe N yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi, mengakibatkan satu sisi menjadi dingin (kalor diserap) dan satu sisi nya menjadi panas (kalor dilepas) (Nulhakim, 2017). Meski memiliki nama “pendingin” sesuai dengan aplikasi utamanya, peltier dapat juga digunakan sebagai pemanas dengan cara membalik penempatan komponen elektronika ini. Penggunaan termoelektrik sudah banyak digunakan di banyak bidang, termoelektrik banyak digunakan sebagai pendingin, pembangkit daya, sensor energi termal, dll (Siagian, 2020)



Gambar 2. 1 Modul Termoelektik (Siagian, 2020)

2.2 Sejarah Penemuan Termoelektrik

Penemuan mengenai termoelektrik ditemukan pada tahun 1821 ketika ilmuwan Jerman bernama Thomas Seebeck menemukan bahwa arus listrik akan mengalir secara terus-menerus dalam suatu rangkaian tertutup (*loop*) yang terdiri dari material berbeda dengan syarat sambungan dari logam tersebut dijaga pada temperature yang berbeda inilah yang dikenal dengan efek seebeck. Yang kemudian pada tahun 1834 Jean Charles Peltier terinspirasi dari efek seebeck yang kemudian melihat kebalikan dari fenomena tersebut, dimana Jean mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian kemudian terjadi penyerapan kalor pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan lainnya. Sambungan pelepasan dan penyerapan panas akan bertukar posisi Ketika arah arus dibalik, penemuan Jean ini kemudian dikenal dengan nama efek Peltier kemudian menjadi dasar pengembangan termoelektrik (Salsabiila, Apriansyah and ..., 2019).

Perkembangan termoelektrik tidak diketahui dengan jelas setelah penemuan Jean Charles Peltier, sampai pada tahun 1913 WW Coblentz melanjutkannya dengan menggunakan tembaga dan constanta (campuran nikel dan tembaga). Dan mendapat efisiensi sebesar 0,0008 persen, dan dari sistem yang dibuat oleh Coblentz menghasilkan listrik sebesar 0,6 mW. Dan dilanjutkan Kembali oleh AF Loffe dengan bahan-bahan semi konduktor dari golongan II-V, IV-VI, V-VI yang pada masa itu sedang berkembang. Hasil dari penelitian ini meningkat dimana efisiensi menjadi 4 persen. Yang kemudian Loffe berhasil membuat lompatan besar dengan berhasil menyempurnakan teori yang berhubungan dengan termoelektrik (Christopel, 2020).

2.3 Prinsip Kerja Termoelektrik

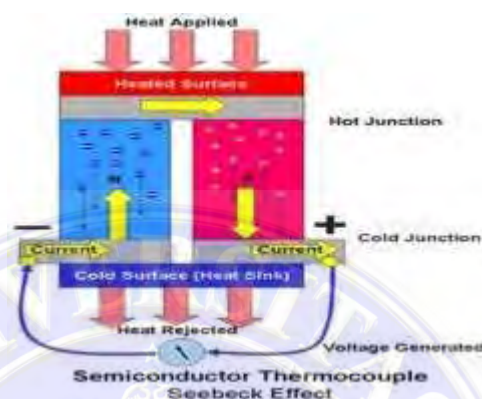
Termoelektrik (peltier) terdiri atas dua jenis semikonduktor (tipe n dan tipe p) disusun berdampiang, ketika semikonduktor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan, perbedaan energi fermi diantara semikonduktor menyebabkan elektron mengalir dari semikonduktor tipe p ke tipe n dengan melewati *junction*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Elektron yang sampai pada tipe n akan berekombinasi dengan hole dengan melepas energi dalam bentuk panas, dan pada semikonduktor tipe p elektron akan melepaskan diri dari ikatan valensinya dengan menyerap energi kalor (panas). Sehingga arus maju ataupun mundur yang melewati *junction* menghasilkan perbedaan suhu (Purwiyanti *et al.*, 2017).



Gambar 2. 2 Sistem Kerja Peltier (Nulhakim, 2017)

Hal yang mengakibatkan sisi dingin peltier menjadi dingin adalah karena mengalirkan eletron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe p, ke tingkat energi yang lebih tinggi yakni semikonduktor tipe n. Agar elektron tipe p yang memiliki tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap kalor (panas) yang menyebabkan suhu pada sisi tersebut dingin. Sementara pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sambungan sisi panas,

dimana elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor tipe n) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe p), agar dapat mengalir ke semikonduktor tipe p energi yang berlebih pada tipe n dibuang ke lingkungan yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi panas



Gambar 2. 3 Arah Elektron Modul Elemen Peltier (PutraandRepi,2019)

Kalor diserap pada sisi dingin dan dilepas atau dibuang pada sisi panas dari elemen peltier. dengan demikian nilai kalor yang dilepas ke lingkungan sama dengan kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberi ke modul (Purwiyanti *et al.*, 2017), seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.3 di atas.

2.4 Efek Termoelektrik

Efek termoelektrik yang dapat diamati Ketika arus listrik dialirkan dalam rangkaian termokopel ada lima yaitu efek *Seebeck*, Peltier, Thomson, Joulean dan Konduksi.

2.4.1 Efek Seebeck

Efek *seebeck* ditemukan oleh fisikawan jerman-estonia Bernama Johann Seebeck pada tahun 1821, dia menemukan bahwa logam yang terhubung pada dua lokasi yang berbeda akan menimbulkan tegangan mikro pada kedua sisinya bila kedua sisi ada pada temperature yang berbeda. Efek inilah yang dikenal dengan efek *Seebeck* (Pratiwi, Febriansyah and Putra, 2021)

2.4.2 Efek Peltier

Jean Charles Peltier menemukan kebalikan dari efek *Seebeck* pada tahun 1834, yang dikenal dengan “efek Peltier”. Efek peltier terjadi apabila dua buah logam berbeda dihubungkan dan kedua ujung logam tersebut dijaga pada temperatur yang berbeda (Christopel, 2020) (Pratiwi, Febriansyah and Putra, 2021).

2.4.3 Efek Thomson

Efek *Thomson* menyatakan dalam penghantar homogen yang terkena perbedaan panas dan perbedaan listrik secara simultan akan terdapat penyerapan atau pelepasan panas bolak balik. Dan bahwa gradien potensial sebagai hasil dari perbedaan temperatur adalah positif searah dengan gradien temperatur (Putra and Repi, 2019).

2.4.4 Efek Joulean

Efek Joulean menjelaskan bahwa Ketika arus listrik dialirkan pada sebuah konduktor, maka akan terbentuk panas akibat adanya sisipasi energi Listrik (Christopel, 2020)

2.4.5 Efek Konduksi

Menjelaskan tentang perpindahan panas secara konduksi yaitu adanya perpindahan panas dari temperature yang lebih tinggi ke temperature yang lebih rendah dalam suatu material (Christopel, 2020)

2.5 Peredam Panas

Dalam system pendingin termoelektrik ini tidak terlepas dari alat peredam panas yang memiliki fungsi untuk mempercepat pelepasan kalor yang diserap untuk kemudian dilepas ke lingkungan. Peredam panas yang baik sangat berpengaruh pada kinerja sistem dalam melakukam penyerapan kalor. Sehingga dengan peredam panas yang baik akan berpengaruh pada *coefficient of performance* sistem pendingin termoelektrik. Adapun jenis-jenis peredam panas sebagai berikut:

1. *Heat sink*

Heatsink merupakan alat pengendali panas pasif yang menyerap panas yang dipancarkan atau dihasilkan oleh komponen elektronik kemudian dipindahkan ke media *fluida* di sekitarnya, bisa berupa udara maupun cairan. *Heat sink* terdiri dari beberapa jenis sesuai dengan fungsinya nya yaitu:

a. *Extrude Heat sink*

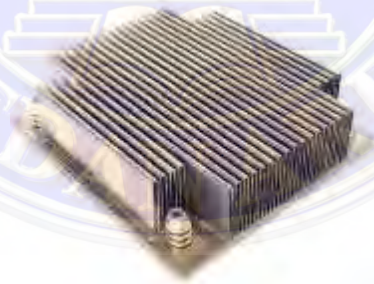
Extrusion proses adalah proses dimana *billet* aluminium dipaksa / ditekan melalui cetakan, menghasilkan penampang dalam satuan Panjang yang diinginkan. Dan produk ini juga yang paling banyak digunakan dipasaran. (*HEAT SINK*, no date)



Gambar 2. 4 *Extrud Heat Sink*

b. *Folded Heat Sink*

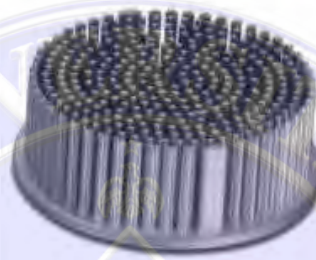
Heat sink jenis ini diproduksi dengan menekuk lembaran aluminium atau tembaga kedalam berbagai bentuk sirip yang sering diikat ke alas terpisah. Jenis pendingin sirip lipat ini memungkinkan alas dan sirip terlipat dibuat dari bahan yang berbeda (*Suqun Group*, no date)



Gambar 2. 5 *Folded Heat Sink* (<https://www.engineeringtoolbox.com/>)

c. *Cold Forged Heatsink*

Cold Forged Heatsink dibuat dengan proses manufaktur yang sangat presisi dimana benda kerja dibentuk dibawah tekanan tinggi dan suhu rendah . proses ini memastikan bahwa tidak ada gelembung udara, porositas, atau kotoran lainnya yang terperangkap dalam material, dan dengan demikian menghasilkan produk dengan kualitas yang sangat tinggi (*Suqun Group, no date*).



Gambar 2. 6 *Cold Forged Heatsink*
(<https://www.engineeringtoolbox.com/>)

2. *WaterBlock*

Water block adalah komponen *heatsink* dari *system water cooling*. Komponen ini memiliki dua bagian, baik jenis aluminium maupun tembaga, yang di gabungkan menjadi satu untuk membentuk block *heatsink* yang di dalamnya terdapat rongga-rongga tempat bahan cairan mengalir seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 *WaterBlock* (Wahyudin, 2018)

Bagian ujung dari tiap rongga, memiliki konektor inlet maupun *outlet*, sebagai penghubung dengan selang atau juga pipa yang berfungsi sebagai mengalirkan bahan pendingin cairan ke seluruh sistem *water cooling* lainnya. Rongga yang terdapat di dalam *waterblock* biasanya berbentuk zig-zag, untuk memungkinkan efektifitas luas permukaan bagi penyaluran panas yang lebih besar (Wahyudin, 2018)

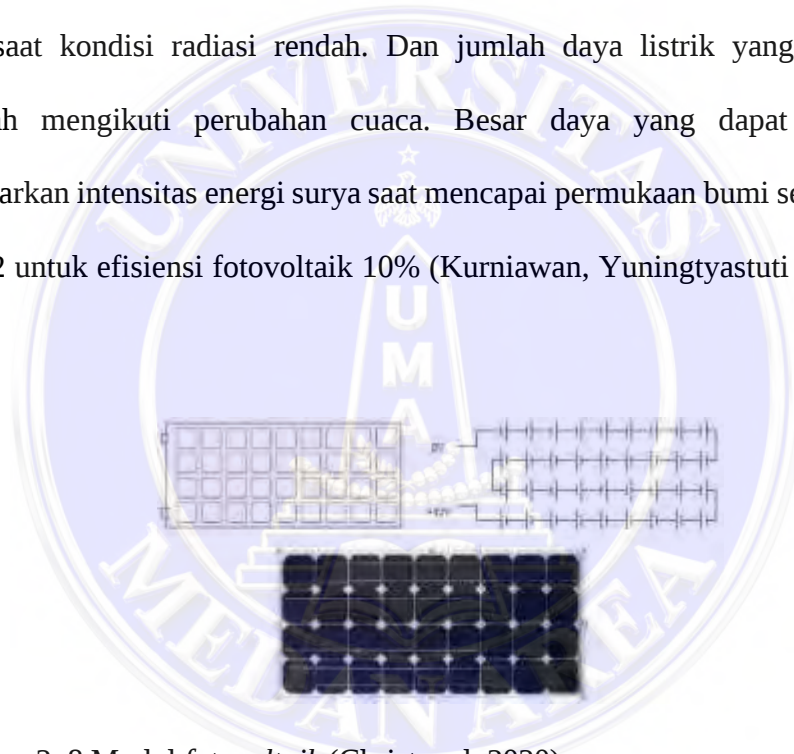
2.6 Fotovoltaik

Fotovoltaik atau sel surya berasal dari bahasa Inggris yaitu "*photovoltaic*". Berasal dari dua kata yaitu "*Photo*" yang berarti cahaya, dan "*volt*" yang merupakan satuan pengukuran tegangan listrik. Fotovoltaik adalah sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian diode tipe "*p*" dan "*n*", yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Fotovoltaik atau sel surya menyerap energi matahari sehingga menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan (Alifyanti and Tambunan, 2016).

Sel fotovoltaik atau sel surya merupakan solid state perangkat listrik yang mengubah energi cahaya langsung menjadi energi listrik oleh efek fotovoltaik.

Sementara sel digunakan untuk membuat modul surya yang digunakan untuk menangkap energi dari radiasi sinar matahari yang dikenal sebagai panel surya. Dan energi yang dihasilkan dari panel surya disebut sebagai tenaga surya (Banne and Marzuki, 2020).

Komponen utama dari sistem fotovoltaik yaitu modul. Modul ini sudah banyak digunakan di Indonesia. Permasalahan yang paling umum terjadi pada penggunaan fotovoltaik adalah tenaga listrik yang dibangkitkan tergolong rendah, khususnya pada saat kondisi radiasi rendah. Dan jumlah daya listrik yang dibangkitkan berubah mengikuti perubahan cuaca. Besar daya yang dapat dibangkitkan berdasarkan intensitas energi surya saat mencapai permukaan bumi sekitar 100 watt per m² untuk efisiensi fotovoltaik 10% (Kurniawan, Yuningtyastuti and Handoko, 2009).



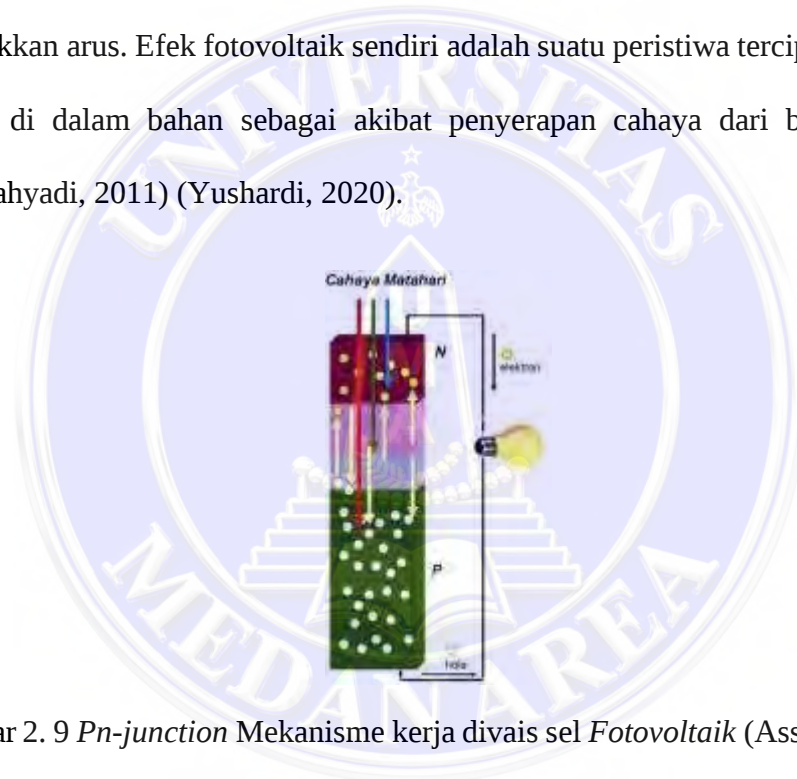
Gambar 2. 8 Modul *fotovoltaik* (Christopel, 2020)

Sel surya diperkirakan akan menjadi sumber pembangkit listrik andalan di masa datang karena penggunaannya sangat praktis terutama untuk suplay energi bagi daerah terpencil yang sulit dijangkau. Selain itu, sumber energi ini juga ramah lingkungan karena dalam proses konversi energinya tidak menghasilkan polusi. Modul sel surya juga bisa disambung secara seri, parallel, ataupun kombinasi seri-parallel untuk menaikkan tegangan dan arus *outputnya* sesuai dengan yang

dibutuhkan pada umumnya sambungan seri untuk mendapatkan tegangan tinggi dan parallel untuk mendapatkan arus atau ampere besar (Hidayat and Sadiana, 2018).

2.6.1 Efek fotovoltaiik

Efek fotovoltaiik pertama diakui pada tahun 1893 oleh fisikawan prancis Alexandre Edmond becquerel. Tetapi, sel surya pertama kali dibuat baru oleh Charles Fritts. Pada tahun 1883. Fotovoltaiik merupakan gabungan beberapa sel surya yang dipasang secara seri untuk menaikkan tegangan dan parallel untuk menaikkan arus. Efek fotovoltaiik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik di dalam bahan sebagai akibat penyerapan cahaya dari bahan tersebut (Nurcahyadi, 2011) (Yushardi, 2020).



Gambar 2. 9 *Pn-junction* Mekanisme kerja divais sel Fotovoltaiik (Assiddiq S, 2017)

Prinsip kerja fotovoltaiik berdasarkan pada efek fotovoltaiik yaitu pada material semikonduktor untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Prinsip kerja semikonduktor sebagai fotovoltaiik mirip dengan dioda sebagai *pn-junction* seperti pada gambar 2.9. *Pn-junction* adalah gabungan semikonduktor jenis p dan n yang diperoleh dengan cara doping pada silicon murni. Di semikonduktor tipe P, terbentuk hole (pembawa muatan listrik positif) yang

memiliki jumlah lebih banyak dibandingkan jumlah elektronnya, sehingga hole adalah pembawa muatan mayoritas sementara elektron adalah pembawa muatan minoritas. Begitu juga sebaliknya dengan semikonduktor tipe n. jika bagian p dari *pn-junction* dihubungkan dengan kutub positif baterai serta bagian n dihubungkan dengan bagian kutub negatif dari baterai, maka arus akan dapat mengalir melewati *pn-junction*. Kondisi ini disebut dengan panjar maju. bila hal sebaliknya dilakukan (panjar mundur) maka arus tidak dapat mengalir melewati *pn-junction*. Namun masih akan tetap ada arus yang mengalir dalam ukuran kecil yang masih dapat mengalir (dalam ukuran mikroamper) yang disebut arus bocor (Assiddiq S, 2017).

2.6.2 Sel Fotovoltaik (Photovoltaic/PV)

Sel fotovoltaik adalah perangkat elektronik yang bekerja dengan menyerap/mereduksi sinar radiasi matahari dan mengubah nya menjadi energi listrik. Pada dasarnya rangkaian modul sel surya berupa chip-chip solar sel. Modul sel surya berupa chip (keping sel surya) tersusun secara seri ataupun parallel serta kombinasi seri-parallel, dengan tujuan untuk rangkaian seri memperoleh menaikkan tegangan dan parallel untuk menaikkan ampere (Hidayat and Sadiana, 2018).

Berdasarkan materialnya penyusunnya sel fotovoltaik (sel surya) dikelompokkan menjadi 3 yaitu monokristal, polikristal, thin film solar (Panjaitan, Suwarno and Darwin, 2020), berikut ini ketiga jenis sel fotovoltaik:

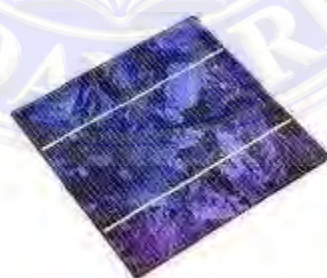
- a. Monokristal yaitu jenis sel fotovoltaik yang memiliki efisiensi sebesar 14-17%. Jenis ini memiliki kelemahan dari panel jenis ini yaitu efisiensi nya

akan turun saat cuaca berawan serta jenis ini merupakan jenis fotovoltaik yang paling mahal.



Gambar 2. 10 Sel Fotovoltaik Jenis Monokristal (Panjaitan, Suwarno and Darwin, 2020)

- b. Polikristal yaitu sel fotovoltaik yang memiliki susunan kristal acak . tipe ini memerlukan permukaan luas yang lebih besar dibandingkan dengan monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, namun tetap dapat menghasilkan energi pada saat mendung. Panel surya jenis ini dikembangkan karena mahalnnya materi motokristal per kilogram. Efisiensi sel surya jenis polikristal sebesar 11.5%-14%.



Gambar2.11SelfFotovoltaikJenisPolikristal(Panjaitan,Suwarno and Darwin, 2020)

- c. *Thin Film Solar* (TFSC) yaitu jenis sel surya yang diproduksi dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya kedalam lapisan dasar.



Gambar 2. 12 Sel Fotovoltaik jenis Thin Film Solar (TFSC) (Panjaitan, Suwarno and Darwin, 2020)

2.6.3 Efisiensi Energi Fotovoltaik (Photovoltaic / PV)

Efisiensi merupakan ukuran kualitas dari sel fotovoltaik(sel surya). Efisiensi sel fotovoltaik adalah rasio dari daya *output* maksimum yang dihasilkan sel (P_{max}) dengan daya intensitas/radiasi matahari yang sampai kepermukaan PV. Efisiensi sel fotovoltaik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini (Hamdani, Subagiada and Subagiyo, 2011):

$$\eta = \frac{P_{out}}{S_T A} \quad (1)$$

Dimana:

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya *output* maksimal Pv (W)

S_T = Radiasi Global matahari jam-an (W), dianggap sama dengan radiasi matahari STC (Standart *Test Condition*) yaitu 1000 W/m^2

Daya *output* maksimal yang dapat dihasilkan oleh sel PV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Patunrengi and Aisyah, 2020):

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2)$$

Dimana:

V_{oc} = Tegangan maksimum saat open circuit (Volt)

I_{sc} = Arus maksimum saat close-circuit (Ampere)

FF = *Fill Factor*

Persamaan *fill factor* menggunakan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dari hasil pengukuran secara langsung pada panel surya pada karakteristik V-I suatu panel surya. nilai *fill factor* biasanya berkisar 0,7-0,85. dimana semakin besar nilai FF maka kinerja panel surya tersebut akan semakin baik, dan akan memiliki efisiensi panel surya yang semakin tinggi. untuk menghitung nilai FF dapat menggunakan persamaan berikut (Siahaan, Muhammad Mujahidin, ST. and Deny Nusyirwan, ST., no date):

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \quad (3)$$

Dimana 0,72 adalah konstanta untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Besar arus listrik yang dapat yang dapat dihasilkan panel bergantung pada besar daya *input* yang diberikan, semakin besar daya yang diberikan maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan. Untuk mengetahui daya *input*, dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area modul PV dengan menggunakan persamaan (Christopel, 2020) :

$$P_{in} = G \times A \quad (4)$$

Dimana:

P_{in} = Daya *input* akibat radiasi matahari (W)

G = Intensitas radiasi Matahari (W/m²)

A = Luas Area permukaan modul fotovoltaik(m²)

2.6.4 Penggunaan Daya dari Fotovoltaik

Untuk menghitung kapasitas daya modul sel surya dengan memperhatikan beberapa *factor*, yaitu kebutuhan energi sistem yang dibutuhkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian (*adjustment factor*). Serta faktor penyesuaian pada instalasi PLTS (Pembagkit Listrik Tenaga Surya) adalah 1,1.

$$kapasitas\ modul = \frac{kebutuhan\ eneri\ sistem}{insolasi\ matahari} \times faktor\ penyesuaian \quad (5)$$

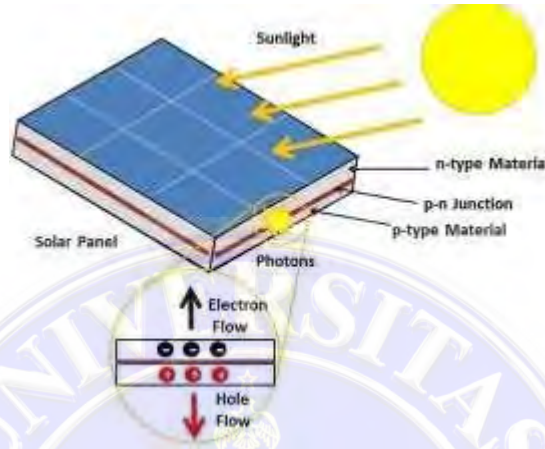
Nilai insolasi matahari diperoleh dengan membagi nilai radiasi matahari dengan lama penyinaran matahari (jumlah jam kerja matahari) biasanya 6-8 jam. Untuk menghitung jumlah modul yang dibutuhkan dapat dihitung dengan membagi kapasitas yang dirancang dengan kapasitas modul yang digunakan (Hafid *et al.*, 2017),

$$jumlah\ modul = \frac{kapsitas\ modul\ yang\ dirancang}{kapasitas\ modul\ yang\ digunakan} \quad (6)$$

2.7 Mekanisme Konversi Energi

Fotovoltaik merupakan alat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Untuk menjaga agar tetap efisien energi listrik dari fotovoltaik disimpan

didalam baterai agat dapat digunakan Ketika kondisi mendung atau pada saat malam hari dimana tidak ada sinar matahari.



Gambar 2. 13 Mekanisme Konversi Energi

(Tobing, Priharti, Wahmisari Sc, M, Ph and Pangaribuan M.T., 2020)

Dari gambar 2.13 dapat dilihat proses konversi energi dari sinar matahari menjadi energi listrik. Ketika terkena sinar matahari, foton yang merupakan partikel sinar matahari menghantam atom semikonduktor silikon fotovoltaik, sehingga menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya. Elektron yang terpisah dan bermuatan negative (-) akan bebas bergerak pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor yang dikatakan sebagai pendonor elektron. Semikonduktor ini dikenal sebagai semikonduktor tipe N. atom yang bertindak sebagai penerima elektron akan terjadi kekosongan pada strukturnya, kekosongan ini dinamakan dengan “hole” dengan muatan positif (+) yang juga disebut semikonduktor tipe P. dipersimpangan daerah positif dan negative (*PN junction*). Akan menimbulkan energi yang mendorong elektrtron dan

hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi daerah negatif sementara hole bergerak menjauhi daerah positif. Dan Ketika diberi beban di persimpangan positif dan negatif (*PN junction*) maka akan menimbulkan arus listrik (Tobing, Priharti, Wahmisari Sc, M, Ph and Pangaribuan M.T., 2020).

2.8 Perpindahan Panas/Kalor

Perpindahan panas yaitu fenomena terjadinya aliran kalor pada suatu zat akibat dari adanya perbedaan suhu. Proses perpindahan panas dibagi menjadi 3 yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan panas/ kalor tersebut juga memindahkan energi yang dapat dihitung dengan persamaan (Cengel, 2004):

$$Q = m C_p \Delta T \quad (7)$$

Dimana:

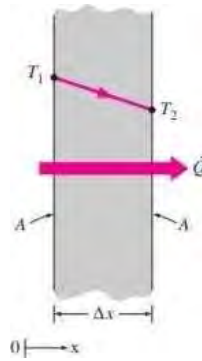
m = massa zat (kg)

C_p = kalor jenis pada tekanan tetap (J/KgoC)

ΔT = Perubahan Temperatur (°C)

2.8.1 Perpindahan Panas konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang melalui media yang sama (satu media). Konduksi merupakan transfer energi dari partikel yang memiliki energi lebih besar ke substansi yang memiliki energi lebih rendah sebagai akibatnya terjadi reaksi antar partikel. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, atau gas. Berikut dapat dilihat proses perpindahan panas konduksi pada gambar dibawah (Cengel, 2004).



Gambar 2. 14 Skema perpindahan panas konduksi (Cengel, 2004)

Persamaan perpindahan panas konduksi:

$$q = k \frac{\Delta T}{L} \quad (8)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas konduksi (W)

ΔT = Perubahan temperatur (K)

K = Konduktivitas termal (W/m.k)

L = Tebal masing masing pelat (m)

Perpindahan panas konduksi yang terjadi pada tiga lapisan,dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q_{konduksi} = \frac{T_{s1}-T_{s4}}{\frac{L_A}{K_{AA}} + \frac{L_B}{K_{BB}} + \frac{L_C}{K_{CC}}} \quad (9)$$

Untuk menghitung suhu antar dua material dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{L_A}{K_{AA}} = \frac{T_{s1}-T_2}{q} = \frac{L_B}{K_{BB}} = \frac{T_2-T_3}{q} = \frac{L_C}{K_{CC}} = \frac{T_3-T_{s4}}{q} \quad (10)$$

Dimana:

T_{s1} = Temperatur pada permukaan paling luar ($^{\circ}C$)

T_2 = Temperatur permukaan antara material 1 dan 2 ($^{\circ}C$)

T_3 = Temperatur permukaan antara material 2 dan 3 ($^{\circ}C$)

T_{s4} = Temperatur permukaan paling dalam ($^{\circ}C$)

k_A, k_B, k_C = koefisien konduktivitas termal material A, B,dan C (W/m.K)

Konduktivitas termal adalah sifat material yang menggambarkan kemampuan untuk menghantarkan panas.Dimana semakin tinggi konduktivitas termal dari material maka akan semakin baik material tersebut menghantarkan panas begitu juga sebaliknya. Berikut di dapat dilihat konduktivitas termal dari beberapa material pada tabel 2.1 dibawah

Tabel 2. 1 Koefisien Konduktivitas termal material

Material	Konduktivitas Termal(W/m ² K)	Material	Konduktivitas Termal(W/m ² K)
Aluminium Alloy	177	Grafit	25-470
Akrilik	0,2	Kaca	1,2
Aluminium Oksida	35	Argon	0,0179
Kuningan	125	Kayu	0,17
Nikel	90,9	Baja karbon	43

Plastik	0,23	Bata	1,31
Perak	430	Polystyrene	0,033
Beton	1,28	Seng	116
Emas	318	Tembaga	390
Epoxy	1,038	Timah	35,3
Tanah	1,15	Besi	80,4

2.8.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang diikuti dengan perpindahan partikel/molekul benda tersebut. Dalam perpindahan panas secara konveksi terjadi aliran massa pada benda/substansi. Perpindahan panas konveksi dibagi menjadi menjadi dua bagian yaitu konveksi bebas (natural) dan konveksi paksa. Untuk konveksi bebas, pergerakan *fluida* terjadi karena gaya buoyant akibat perpindahan densitas (kerapatan) *fluida*. Adanya perbedaan densitas *fluida*

Adanya perbedaan densitas *fluida* dapat diakibatkan oleh adanya kenaikan suhu pada *fluida* sehingga *fluida* yang bertemperatur tinggi akan berkurang densitasnya dan bersirkulasi dengan *fluida* yang lebih dingin dan densitas yang lebih rapat. Konveksi paksa terjadi apabila pergerakan *fluida* terjadi akibat pengaruh dari luar seperti kipas dan pompa sehingga *fluida* bergerak (Cengel, 2004).

Untuk menghitung perpindahan panas konveksi dapat menggunakan persamaan:

$$q = h A (T_s - T_\infty) \quad (11)$$

Dimana:

q = Kalor (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²K)

A = Luas permukaan (m²)

T_s = Temperatur pada permukaan material (°C)

T_{∞} = Temperature lingkungan / ambient (°C)

Nilai koefisien konveksi (h) dapat dihitung dengan dengan persamaan

(Cengel, 2004):

$$h = \frac{Nu_L}{L} \quad (12)$$

Dimana :

Nu_L = Bilangan Nusselt

K = koefisien konduktivitas termal *fluida* (w/m K)

L = panjang permukaan yang terjadi konveksi (m)

2.8.3 Perpindahan Panas Konveksi Bebas

Perpindahan panas konveksi bebas adalah perpindahan panas yang terjadi secara alamiah tanpa adanya gaya luar yang membantu terjadi aliran *fluida*. Pada konveksi bebas, untuk menghitung bilangan Nusselt, terlebih dahulu menghitung Bilangan Rayleigh (Ra_L) dengan persamaan (Cengel, 2004):

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\alpha\nu} \quad (13)$$

Dimana:

g = Percepatan Gravitasi 9,81 m/s

β = Koefisiensi Ekspansi termal (1/k)

α = difusitas termal (m²/s)

ν = Viskositas kinematik (m²/s)

Pr = bilangan Prandlt

Pada bidang vertical:

L = Tinggi sisi (m)

Untuk bidang horizontal:

$$L = \frac{As}{P} = \frac{wL}{2(w+L)} \quad (14)$$

Dimana:

L = Panjang (m)

w = Lebar (m)

Jika nilai bilangan *Rayleigh*: $104 \leq Ra_L \leq 109$, maka terjadi aliran Laminar.

Menurut *Churchill dan Chu*, bilangan Nusselt dapat dihitung dengan persamaan (Cengel, 2004):

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,670Ra_L^{1/4}}{0,492 + \frac{0,670}{Pr^{1/4}}} \quad (15)$$

Dimana:

Ra_L = Bilangan Rayleigh

Pr = Bilangan Prandlt

Jika nilai bilangan Rayleigh: $109 \leq RaL \leq 1012$, maka terjadi aliran Turbulen. Menurut *Churcill* dan *Chu*, bilangan *Nusselt* dapat dihitung dengan persamaan (Cengel, 2004):

$$NuL = [0,825 + \frac{0,387RaL^{\frac{1}{4}}}{0,492 + \frac{0,6}{Pr}}]^2 \{1 + \frac{0,492}{Pr}\}^{27} \quad (16)$$

2.8.4 Perpindahan Panas Konveksi Paksa

Perindahan panas konveksi paksa adalah perpindahan panas secara konveksi dimana *fluida* dipaksa mengalir. Dalam hal ini aliran *fluida* dipaksa mengalir misalkan dengan pompa.

Untuk menghitung bilangan *Nusselt* di konveksi paksa, maka terlebih dahulu menghitung bilangan *Reynold* (Re) dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (17)$$

Dimana:

V = Kecepatan *Fluida* (m/s)

L = Panjang Plat (m)

μ = Viskositas kinematis (m²/s)

Bila bilangan *Reynold* $Re < 5 \times 10^5$ maka aliran tersebut dikategorikan laminar sepanjang plat. sehingga bilangan *Nusselt* dapat dihitung dengan persamaan:

$$Nu = 0,664 Re_L^{0,5} Pr^{0,333} \quad (18)$$

Dan bila bilangan *Reynold* $5 \times 10^5 \leq Re \leq 10^7$ Aliran dikategorikan turbulent sepanjang plat. Sehingga bilangan Nusselt dapat dihitung dengan persamaan:

$$Nu = 0,037Re_L^{0,8}Pr^{0,333} \quad (19)$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynold

Pr = Bilangan Prandlt

2.8.5 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi yaitu proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke ke benda bersuhu rendah bila benda tersebut terpisah didalam ruang bahkan bila terdapat diantara benda-benda tersebut terdapat ruang hampa. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya (3×10^8 m/s). Berdasarkan teori elektromagnetik, radiasi cahaya serta radiasi termal berbeda hanya dalam Panjang gelombang masing-masing (Johan, Mufarida and Efan, 2016).

Untuk menghitung perpindahan panas secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan umum perpindahan panas radiasi (Johan, Mufarida and Efan, 2016):

$$q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (20)$$

Dimana:

q_{rad} = Laju perpindahan panas radiasi (w)

σ = Konstanta Stevan-Boltzman $5,67 \times 10^{-8}$ (w/m² K)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m²)

ε = Emisivitas Termal Material ($\varepsilon = 1$ untuk benda gelap, $\varepsilon = 0$ untuk benda putih)

T_1 = Temperatur Benda 1 (Kelvin)

T_2 = Temperatur Benda 2 (Kelvin)

Untuk perpindahan panas radiasi yang terjadi pada material lapis tiga, kalor radiasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$q_{rad} = \frac{1}{\left(\frac{1}{A_1 \varepsilon_1} + \frac{1}{A_3 \varepsilon_3} - \frac{1}{A_3}\right) + \frac{1}{\left(\frac{1}{A_2 \varepsilon_{2,1}} + \frac{1}{A_2 \varepsilon_{2,3}} - \frac{1}{A_2}\right)}} \sigma (T_{s1}^4 - T_{s4}^4)$$

Tabel 2. 2 Emisivitas Termal Material

Material	Emisivitas Termal	Material	Emisivitas Termal
Aluminium sheet	0,09	Kaca kuarsa	0,93
Aluminium dipolis	0,039-0,057	Karet	0,90
Aluminium foil	0,04	Kuningan dipolis	0,03
Alumium	0,007	Nikel dipolis	0,072
Baja stainless	0,075	Nikel teroksidasi	0,59-0,86
Baja dipolis	0,07	Kayu	0,82-0,92
Bismuth, cerah	0,34	Plastic	0,91
Batu bara	0,80	Polystrene	0,6
Bata merah	0,93	Porcelain	0,92

Besi tuang	0,44	Tanah liat	0,91
Beton	0,85	Tembaga	0,023-0,052
		Dipolis	
Emas	0,47	Pasir	0,9
Cat Epoxy hitam	0,89	PVC	0,91-0,93
Kaca halus	0,92 – 0,94	Garam	0,34

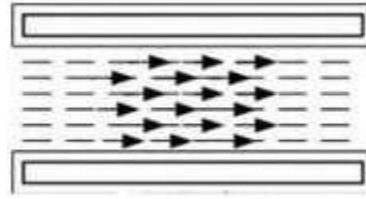
2.9 Laju Aliran *Fluida*

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.

2.9.1 Aliran Laminar

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

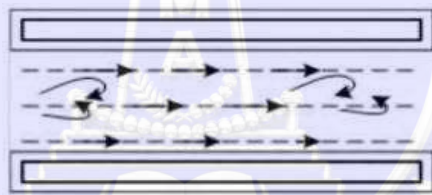
lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnnya kurang dari 2300 ($Re < 2300$).



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

2.9.2 Aliran Transisi

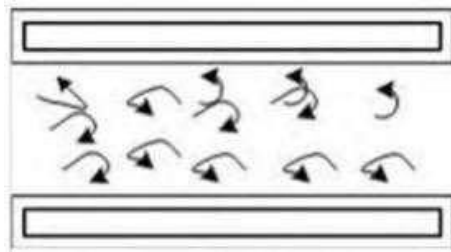
Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas *fluida*, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldsnnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$)



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

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



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1 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.

3.1.2 Waktu penelitian

Penelitian di laksanakan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengeolola program studi sampai dinyatakan selesai yang di rencanakan berlangsung selama waktu yang telah di tentukan .waktu kegiatan penelitian dapat di lihat pada table 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																			

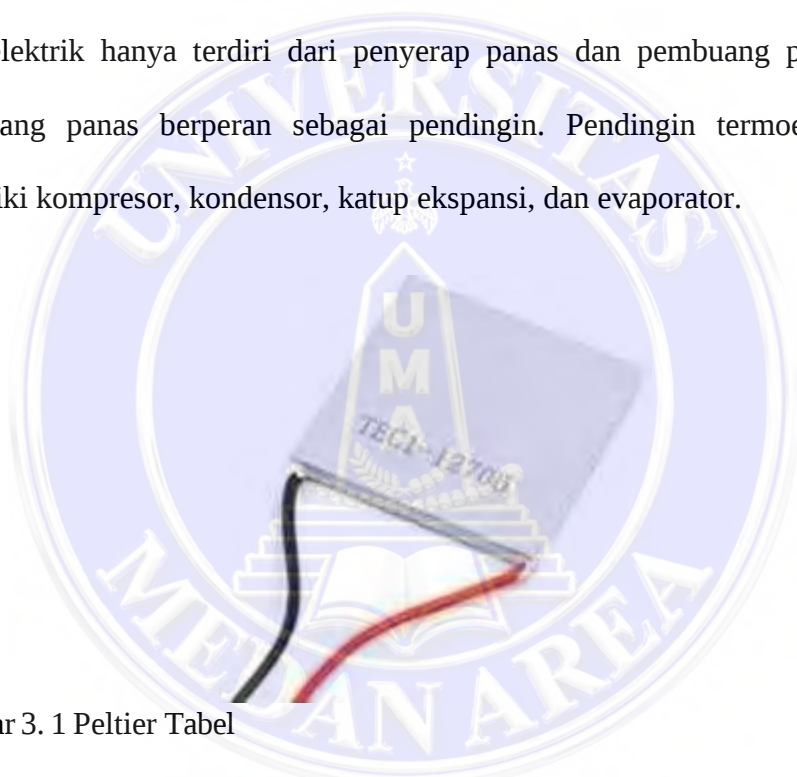
3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

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.



Gambar 3. 1 Peltier Tabel

3. 2 Tabvel Spesifikasi bagian peltier TEC1-12706

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

b. 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, di mana akses ke pendinginan konvensional (seperti kulkas atau *freezer*) terbatas. Kotak pendingin dapat di lihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Kotak pendingin

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

Tabel 3. 3 Spesifikasi kotak pendingin

No.	Kategori	Keterangan
1.	2Dimensi	(24 x30 x 50) cm
2.	Material dalam	Aluminium foil dan <i>Styrofoam</i>
3.	Material luar	Akrilik

4. Volume Kotak Pendingin (18 x 26 x 36)

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 3.3 berikut:



Gambar 3. 3 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 3.4 berikut:

Gambar 3. 4 Pompa *fluida*

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

Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa *fluida*

No.	Kategori	Keterangan
1.	Dimensi	(92 x 46 x 35) mm
2.	Material	Plastik
3.	<i>Input voltage</i>	DC 12 V
4.	Jumlah Unit	2
5.	<i>Max flow rate</i>	180 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 110 V & 245 V
3.	<i>Output</i>	DC 12 V
4.	Ampere	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 3.6 berikut:



Gambar 3. 6 Kipas

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

Tabel 3. 6 Spesifikasi kipas

No.	Kategori	Keterangan
1.	Model	KLOP8025HS
2.	Dimensi	(120 x 120 x 38) mm
3.	Tegangan	12 V
4.	Arus	3,14 A
5.	Speed	6.700 rpm
6.	Jumlah unit	4

g. Heatsink

Heatsink berfungsi untuk mengambil panas dari sisi ini dan menyebarkannya ke permukaan yang lebih luas agar panas bisa dibuang ke udara dengan lebih cepat. *Heatsink* memiliki desain yang khusus (biasanya terdiri dari beberapa sirip atau fin) untuk meningkatkan luas permukaan yang bersentuhan dengan udara. Ini memungkinkan lebih banyak panas untuk dibuang ke lingkungan sekitar



Gambar 3. 7 *Heatsink*

h. Panel Surya

Panel surya adalah perangkat yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Panel surya terdiri dari sel-sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang ditata sedemikian rupa untuk menyerap sinar matahari.

Panel Surya yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3. 8 Panel Surya

i. *Waterblock*

Waterblock adalah komponen *heatsink* dari sistem *water cooling*. Komponen ini memiliki dua bagian, baik jenis aluminium maupun tembaga, yang di gabungkan menjadi satu untuk membentuk *block heatsink* 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 3.9 berikut:



Gambar 3. 9 *Waterblok*

j. 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.

k. Wadah *Fluida*

Wadah *fluida* merupakan wada yang digunakan sebagai tempat *fluida* pendingin pada aplikasi system pendingin berbasis TEC. Wadah yang dingunakan dalam pengujian Adalah wadah jenis plastic dengan kapasitas tamping *fluida* sebesar 4 liter. Wada penampung *fluida* dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3. 10 Wadah *Fluida*

3.2.2 Alat

a. Termokopel

Termokopel memberikan data suhu secara *real-time*, yang sangat penting untuk menilai efisiensi 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 3.11 berikut:



Gambar 3. 11 Termokopel data logger

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

Tabel 3. 7 Spesifikasi termokopel

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

b. *Watt Meter*

Watt meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur daya listrik aktif (dalam satuan *watt*) yang digunakan oleh suatu peralatan listrik atau sistem kelistrikan. Kegunaan *Watt Meter*:

1. Mengukur daya listrik aktif (*watt*):
2. Mendeteksi konsumsi energi berlebihan:
3. Membantu efisiensi energi:
4. Pemeliharaan dan pengujian alat listrik:
5. Digunakan dalam pembelajaran atau eksperimen kelistrikan

Adapun *Wat meter* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.12 berikut:



Gambar 3. 12 Wat Meter

c. 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. 13 Gelas Ukur (500 ml)

d. Laptop

Laptop memainkan peran yang sangat penting dalam proses pengerjaan laporan tugas akhir. Laptop memungkinkan penggunaan perangkat lunak seperti *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, *Google Docs*, atau *LaTeX* untuk menulis, mengedit, dan memformat teks skripsi. Mahasiswa dapat menulis bab-bab skripsi (pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi, analisis, dan

kesimpulan) dengan efisien. Adapun laptop yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.14 berikut:



Gambar 3. 14 Laptop Asus

e. Modul UPS DC

Modul UPS DC adalah sebuah modul yang berfungsi sebagai satu daya cadangan (*Uninterruptible Power Supply* atau UPS) yang beroperasi pada tegangan DC (arus searah). Modul ini menyediakan daya cadangan ketika sumber daya utama (misalnya, listrik PLN) terputus, sehingga perangkat yang terhubung tetap mendapatkan pasokan daya tanpa gangguan.

Fungsi Modul UPS DC:

Modul UPS DC dirancang untuk mengisi baterai saat ada daya listrik dan secara otomatis beralih ke daya baterai saat sumber utama padam, memastikan perangkat yang terhubung tetap menyala. Adapun modul UPS yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.15 berikut:



Gambar 3. 15 Modul UPS DC

f. Pyranometer

Pyranometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari, atau lebih tepatnya, mengukur radiasi matahari yang diterima pada permukaan datar. Alat ini mengukur kerapatan fluks elektromagnetik radiasi matahari dalam satuan *watt* per meter persegi (W/m^2). Pyranometer memiliki sensor yang peka terhadap radiasi matahari dari seluruh belahan langit (hemisferis) di atasnya. Pyranometer memiliki sudut pandang yang luas (biasanya 180 derajat), sehingga dapat mengukur radiasi matahari langsung dan radiasi yang tersebar. Berikut gambar dari pyranometer dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut:



Gambar 3. 16 Pyranometer

3.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen dan simulasi. Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data sekunder yang berasal dari buku serta jurnal-jurnal penelitian terdahulu, dan data primer diperoleh dari dengan melakukan pengukuran langsung terhadap objek.

Dalam penelitian biasanya ada 3 variabel yang akan menjadi titik acu penelitian tersebut.

Adapun ketiga variabel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat mempengaruhi dan menjadi sebab perubahan variabel terikat.

Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

- a. Temperatur kotak pendingin
- b. Temperatur spesimen (air mineral kemasan)
- c. Intensitas radiasi matahari
- d. Temperatur lingkungan

2. Variabel terikat

Variabel yang diamati perubahannya sebagai akibat dari variabel bebas.

Adapun variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

- a. Kalor
- b. Daya *output* panel

3. Variabel control

Variabel yang dibuat sama pada setiap pengujian dan terkendali. Adapun variabel kontrol yang diamati pada penelitian ini adalah:

- a. objek pengujian (air)

3.4 Populasi dan Sampel

Populasi dan sampel dalam penelitian optimasi laju aliran *fluida* pada sistem *thermoelectric cooler* (TEC) untuk meningkatkan efisiensi *refrigerator* ini di deskripsikan pada tabel 3.9 sebagai berikut.

Tabel 3. 8 Populasi dan sampel

No.	Jenis <i>Fluida</i>	Variasi Laju Aliran <i>Fluida</i>	Waktu Pengujian
		(L/s)	(menit)
1.	Air	0.008	60
2.	Air	0.005	60
3.	Air	0.002	60

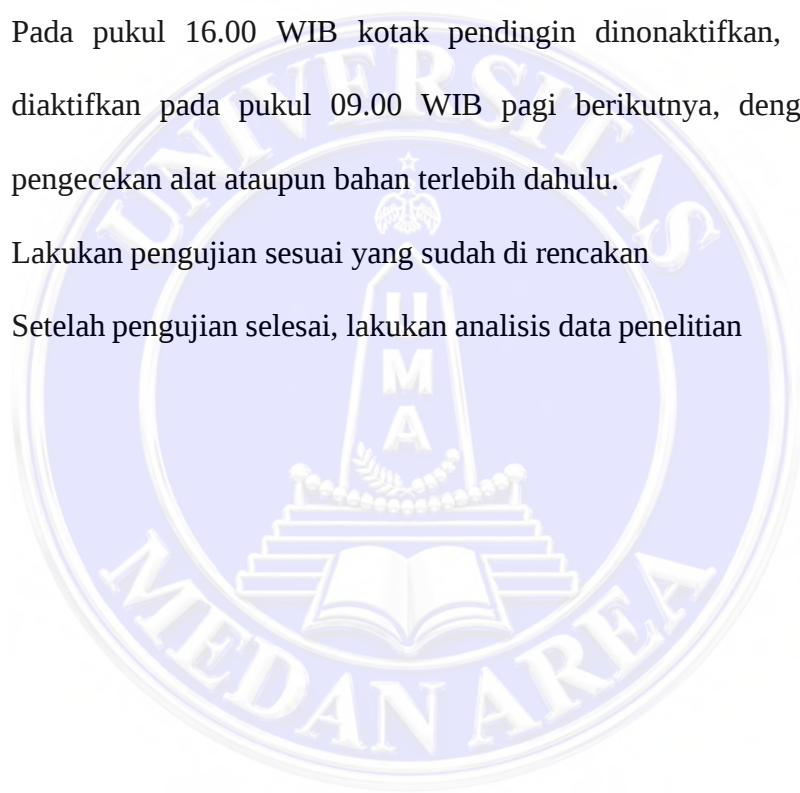
3.5 Prosedur Kerja

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan selama 6 jam, mulai dari jam 09.00 WIB -16.00 WIB prosedur penelitian yang dilakukan adalah:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dan memeriksa semua alat sebelum memulai pengujian.
2. Memasang panel surya ditempat terbuka yang bebas atau yang tidak terhalang bayangan. Memasang pengatur tegangan panel surya (*solar*

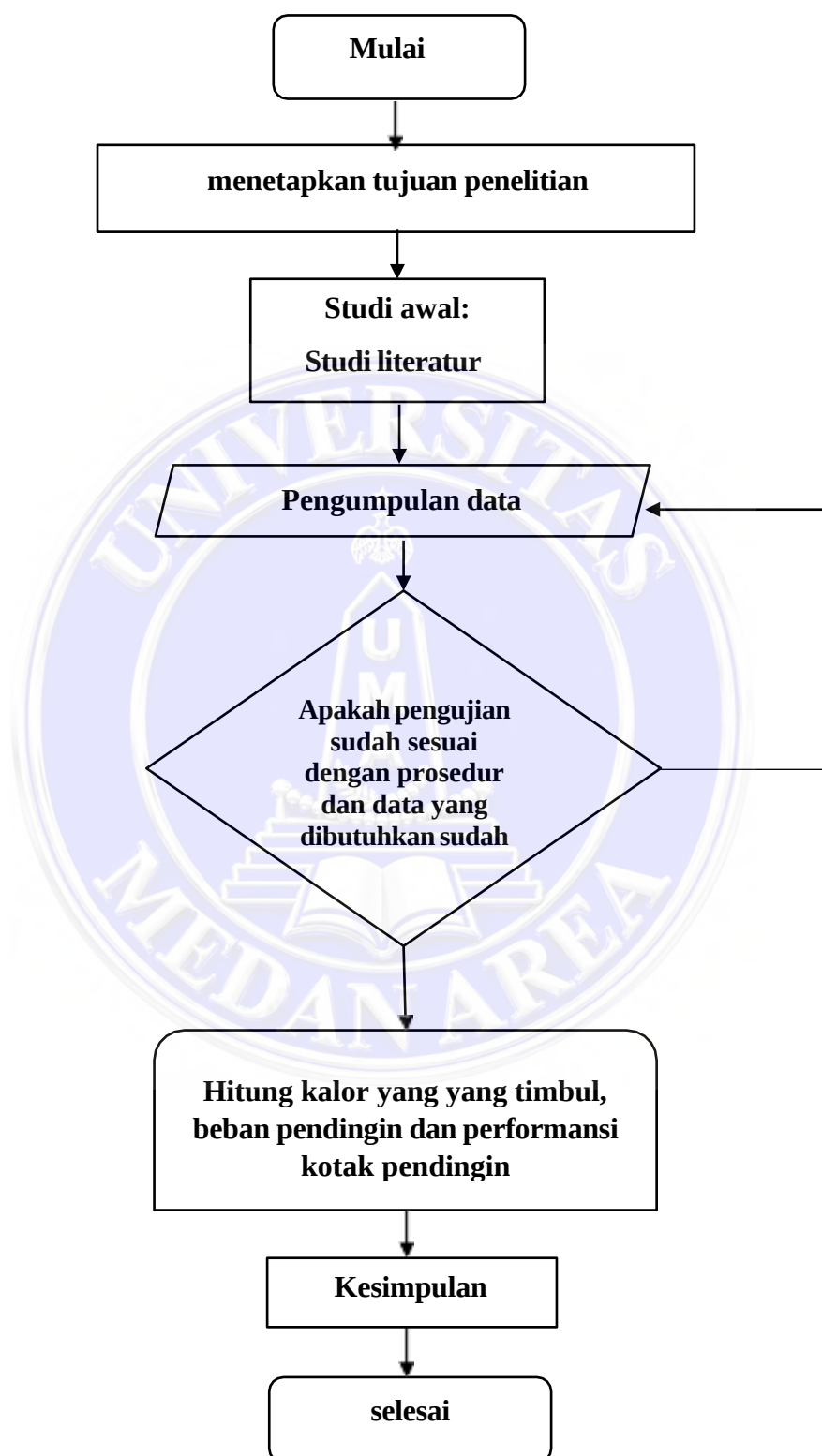
charge controller) sesuai petunjuk. Serta memastikan semua rangkaian alat telah berfungsi dan siap untuk digunakan.

3. Memasukkan air mineral kedalam kotak pendingin.
4. Memasang kabel termokopel di kotak pendingin, kemudian menyalakan *Jinko Agilent* dan menghubungkannya ke *Flaskdisk*.
5. Menutup kotak pendingin dan mengaktifkan aki dengan cara menjepit kabel SCC ke baterai.
6. Pada pukul 16.00 WIB kotak pendingin dinonaktifkan, dan Kembali diaktifkan pada pukul 09.00 WIB pagi berikutnya, dengan dilakukan pengecekan alat ataupun bahan terlebih dahulu.
7. Lakukan pengujian sesuai yang sudah di rencanakan
8. Setelah pengujian selesai, lakukan analisis data penelitian



3.6 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3. 17 Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan dan disampaikan pada bab-bab sebelumnya, maka kesimpulan dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Temperatur terendah air mineral yang didapat pada pengujian adalah sebesar $23,6^{\circ}\text{C}$.

Untuk pengujian yang dilakukan pada tanggal 12-14 Agustus 2025 didapatkan data spesimen pengujian (air mineral) sebagai berikut:

- Suhu rata-rata sebesar $24,857^{\circ}\text{C}$
- Suhu maksimum sebesar $28,4^{\circ}\text{C}$
- Suhu terendah sebesar $23,6^{\circ}\text{C}$

Hasil uji coba yang saya buat membuktikan bahwa kotak pendingin berbasis Peltier dengan suplai energi dari panel surya mampu menurunkan suhu beban (air mineral) hingga $23,6^{\circ}\text{C}$ dengan perpindahan panas yang dominan berasal dari konduksi dan konveksi paksa. Namun, performa sistem masih dipengaruhi oleh kestabilan suplai daya dari radiasi matahari, dan konsumsi daya hanya mampu menghasilkan 66,05 Watt sehingga efisiensi pendinginan belum maksimal.

5.2 Saran

Setelah melakukan pengujian penulis dapat memberi saran terhadap penelitian ini yaitu:

1. Untuk penelitian berikutnya diharapkan memperhatikan kapasitas beban pendingin agar menyesuaikan dengan besar kerja yang mampu dilakukan sistem.
2. Pada penyerapan kalor di sisi panas peltier diharapkan menggunakan *heatsink* dengan ukuran yang lebih besar serta *fan* dengan rpm lebih tinggi agar suhu panas peltier dapat ditekan seminimum mungkin.
3. Menggunakan radiator ataupun *waterblock cooler* agar pelepasan panas peltier ke lingkungan lebih maksimum dan kerja peltier lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Alifyanti, D. F. and Tambunan, J. M. (2016) 'Pengaturan Tegangan Penmbangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1000 watt', *JURNAL KAJIAN TEKNIK ELEKTRO*, p. 80.
- Assiddiq S, H. (2017) 'Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Efisiensi Sel Fotovoltaik', *Media Sains*, pp. 164–165.
- Banne, M. S. and Marzuki, M. (2020) 'Analisis Daya Yang Dihasilkan Oleh Sel Fotovoltaik 20 Wp', *Jurnal Voering*, p. 3.
- Cengel, Y. A. (2004) *Heat Transference a Practical Approach*, MacGraw-Hill,. New York. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_5.
- Christopel, B. (2020) *Uji eksperimental kotak pendingin termoelektrik berbasis tenaga surya dengan menggunakan arus listrik panel surya skripsi*. Universitas Sumatera Utara.
- Hafid, A. et al. (2017) 'Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pulau Balang Lompo', *Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, p. 10.
- Hamdani, D., Subagiada, K. and Subagiyo, L. (2011) 'Analisis Kinerja Solar Photovoltaic System (Sps) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi dan Eksergi', *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, p. 86.
- HEAT SINK (no date). Available at: <https://www.uacj-yanjin.com/produk/> (Accessed: 7 December 2021).
- Hidayat, W. and Sadiana, R. (2018) 'Catu daya sel surya serba guna (portable) untuk telepon genggam', *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, p. 44.
- <https://www.engineeringtoolbox.com/> (no date).
- Johan, A., Mufarida, A. and Efan, A. (2016) 'Analisis Laju Perpindahan Panas Radiasi Pada Inkubator', *J-Proteksion*, p. 30.
- Kurniawan, S., Yuningtyastuti and Handoko, S. (2009) 'Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Konverter Dc-Dc Tipe Cuk', *Transient*, p. 115.
- Mirmanto, R. Sutanto, D. K. P. (2018) 'Unjuk Kerja Kotak Pendingin Termoelektrik dengan Varuasi Laju Aliran Massa Air Pendingin', *journal teknik mesin (JTM)*, p. 44.
- Nulhakim, L. (2017) 'Uji Unjuk Kerja Pendingin Ruangan Berbasis Thermoelektrik Cooling', *Jurnal SIMETRIS*, p. 85.
- Nurchayadi, M. N. T. (2011) 'Workshop Teknologi Fotovoltaik, Taman Pintar Yogyakarta 20 Desember 2011', pp. 1–15.
- Panjaitan, A., Suwarno and Darwin (2020) 'Analisa Pengaruh Intensitas Sinar Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Sel Surya Jenis Monokristal', *ceredindonesia*, p. 102.

- Patunrengi, I. I. and Aisyah (2020) 'Perbandingan Efisiensi Sel Fotovoltaik Berbasis Dssc Dari Ekstrak Zat Warna Segar Dan Kering Tumbuhan Secang, Tarum Dan Pacar Kuku', *Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi*, p. 29.
- Pratiwi, Y. R., Febriansyah and Putra, H. S. (2021) 'Pemanfaatan Efek Seebeck Pada Peltier Sebagai Generator Darurat Dengan dan Tanpa Step Up DC to DC', *Journal of Science Nusantara*, p. 31.
- Purwiyanti, S. et al. (2017) 'Aplikasi Efek Peltier Sebagai Kotak Penghangat dan Pendingin Berbasis Mikroprosesor Arduino Uno', *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, p. 100.
- Putra, F. C. and Repi, V. V. R. (2019) 'Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan Obat-Obatan', *Jurnal Ilmiah Giga*, p. 73. doi: 10.47313/jig.v18i2.577.
- Salsabiila, F. P., Apriansyah, M. H. and ... (2019) 'Konversi Energi Panas Surya menjadi Listrik menggunakan Peltier TEC 1-12706', *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, p. 195.
- Siagian, H. A. B. (2020) *Kulkas Mini Menggunakan Termoelektrik Cooler Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno dengan Tampilan Android Aplikasi IOT*. Universitas Sumatera Utara.
- Siahaan, A., Muhammad Mujahidin, ST., M. and Deny Nusyirwan, ST., M. S. (no date) 'Implementasi Panel Surya Yang Diterapkan Pada Daerah Terpencil Di Rumah Tinggal Di Desa Sibuntoun, Kecamatan Habinsaran', *Universitas Maritim Raja Ali Haji*, pp. 3–4.
- Suqun Group (no date). Available at: <https://www.sq-corp.com/> (Accessed: 7 December 2021).
- Tobing, A. L., Priharti, Wahmisari Sc, M, Ph, D. and Pangaribuan M.T., I. P. (2020) 'Pencatutan Daya Dengan Sumber Energi Fotovoltaik Untuk Sistem Otomatisasi Budidaya Tanaman Tomat', *e-Proceeding of Engineering*, pp. 2–3.
- Wahyudin, muhamad tyas (2018) 'Pembuatan alat pendingin air menggunakan modul termoelektrik peltier tec-12706', *Politeknik Negeri Bandung*, p. 10.
- Yushardi, lubna; sudarti; (2020) 'Potensi Energi Surya fotovoltaik sebagai sumber energi Alternatif', pp. 76–79. Available at: <https://globalsolaratlas.info/>.

