

**RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA KOLEKTOR SURYA PV/T  
DENGAN SIRIP TERCELUP (*IMMERSED FINS*) JARAK 35 mm  
PADA PERENDAMAN 25% & 50%**

**(Proyek Akhir)**

**Oleh**

**ALDO ANGGARA**

**NPM 2305101016**



**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

**RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA KOLEKTOR SURYA PV/T  
DENGAN SIRIP TERCELUP (*IMMERSED FINS*) JARAK 35 mm  
PADA PERENDAMAN 25% & 50%**

**Oleh**

**ALDO ANGGARA  
NPM 2305101016**

**Laporan Proyek Akhir**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
AHLI MADYA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### **RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA KOLEKTOR SURYA PV/T DENGAN SIRIP TERCELUP (*IMMERSED FINS*) JARAK 35 mm PADA PERENDAMAN 25% & 50%**

Oleh:

**ALDO ANGGARA**

Keterbatasan cadangan energi fosil serta meningkatnya emisi gas rumah kaca mendorong pengembangan energi terbarukan, salah satunya panel surya. Namun, kenaikan temperatur kerja modul *photovoltaic* akibat radiasi dapat menurunkan efisiensi dan daya keluaran listrik. Penelitian ini bertujuan meningkatkan kinerja sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T) menggunakan sirip pendingin paralel berjarak 35 mm dengan metode perendaman air. Sirip dibuat dari pelat aluminium 1 mm melalui pemotongan, bending, dan penyambungan rivet. Pengujian dilakukan menggunakan solar simulator dengan intensitas radiasi rata-rata sebesar  $\pm 804 \text{ W/m}^2$  pada perendaman 25% dan 50%.

Hasil menunjukkan bahwa pendinginan sirip perendaman menurunkan temperatur modul PV dari  $\pm 86 \text{ }^\circ\text{C}$  tanpa sirip menjadi  $\pm 58 \text{ }^\circ\text{C}$  pada perendaman 25% dan  $\pm 54 \text{ }^\circ\text{C}$  pada perendaman 50%. Penurunan temperatur ini meningkatkan daya keluaran listrik dari 5,84 W menjadi 6,53 W, serta lebih baik dibandingkan konfigurasi jarak sirip 70 mm pada penelitian sejenis. Kondisi ini menunjukkan bahwa jarak sirip yang lebih rapat meningkatkan efektivitas perpindahan panas dan menjaga performa listrik modul PV tetap optimal selama pengujian.

Dari hasil yang didapat pendinginan sirip perendaman efektif menurunkan temperatur modul PV dan meningkatkan kinerja listrik sistem PV/T.

Kata kunci: Energi terbarukan, sistem PV/T, fabrikasi, pengujian perendaman.

## **ABSTRACT**

### **DESIGN AND PERFORMANCE TESTING OF A PV/T SOLAR COLLECTOR WITH IMMERSED FINS OF 35 mm SPACING AT 25% & 50% IMMERSION**

**By:**

**ALDO ANGGARA**

The limited reserves of fossil fuels and the increase in greenhouse gas emissions encourage the development of renewable energy, one of which is solar panels. However, the increase in the operating temperature of photovoltaic modules due to radiation can reduce efficiency and electrical output power. This study aims to improve the performance of photovoltaic/thermal (PV/T) systems using parallel cooling fins spaced 35 mm apart using the air immersion method. The fins are made from 1 mm aluminum plates through cutting, bending, and riveting. Testing was carried out using a solar simulator with an intensity of  $\pm 804 \text{ W/m}^2$  at 25% and 50% immersion depth.

The results show that immersion fin cooling reduces the temperature of the PV module from  $\pm 86 \text{ }^\circ\text{C}$  without fins to  $\pm 58 \text{ }^\circ\text{C}$  at 25% immersion and  $\pm 54 \text{ }^\circ\text{C}$  at 50% immersion. This temperature reduction increases the electrical output from 5.84 W to 6.53 W, and is better than the 70 mm fin spacing configuration in similar studies. This condition indicates that the closer fin spacing increases the effectiveness of heat transfer and maintains the optimal electrical performance of the PV module during testing.

From the results obtained, immersion fin cooling effectively reduces the temperature of the PV module and improves the electrical performance of the PV/T system.

Keywords: Renewable energy, PV/T system, fabrication, immersion testing.

**Judul** : RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA  
KOLEKTOR SURYA PV/T DENGAN SIRIP  
TERCELUP (*IMMERSED FINS*) JARAK 35 mm  
PADA PERENDAMAN 25% & 50%

**Nama Mahasiswa** : Aldo Anggara

**Nomor Pokok Mahasiswa** : 2305101016

**Jurusan / Program Studi** : Teknik Mesin / DIII Teknik Mesin

**Fakultas** : Teknik

Bandar Lampung, 05 Maret 2026



**Ketua Program Studi**  
**Diploma III Teknik Mesin**

**Dosen Pembimbing**

**Zulhanif, S.T., M.T.**  
NIP. 197304022000031002

**Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197002021998031004

**MENGETAHUI,**

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Ahmad Suudi, S.T., M.T.**  
NIP. 197408162000121001

**MENGESAHKAN**

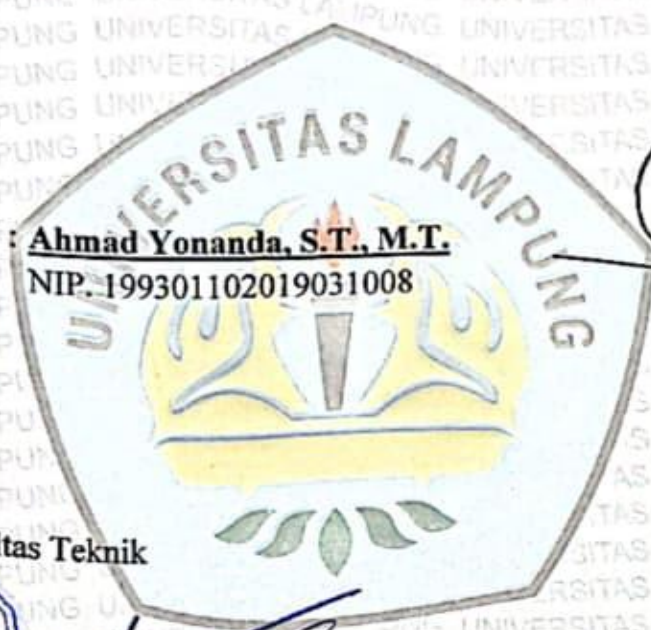
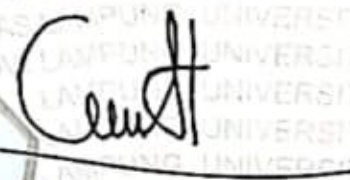
**1. Tim Penguji**

**Pembimbing : Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 197002021998031004**



**Penguji**

**Ahmad Yonanda, S.T., M.T.**  
**NIP. 199301102019031008**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.**  
**NIP. 196910302000031001**

**Tanggal Lulus Ujian Proyek Akhir : 05 Maret 2026**

## PERNYATAAN PENULIS

Penulis Proyek akhir ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan surat Keputusan Rektor No.3187/H26/DT/2010.

Yang Membuat Pernyataan



**ALDO ANGGARA**  
NPM. 2305101016

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Baturaja, Sumatera Selatan pada tanggal 25 Mei 2006 dengan orang tua bernama bapak Zarman Abidin dan ibu Lasnah. Penulis memulai pendidikan sekolah dasar di Madrasah Ibtidai'yah Semidang Aji, di Kabupaten Ogan Komering Ulu lulus tahun 2017, sekolah menengah pertama di SMPN 22 Ogan Komering Ulu lulus tahun 2020, melanjutkan sekolah menengah atas di SMAN 09 Ogan Komering Ulu mengambil jurusan IPS lulus pada tahun 2023. Kemudian penulis diterima di Universitas Lampung pada tahun 2023 mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin.

Penulis mengikuti berbagai macam bentuk kegiatan di kampus tercinta Universitas Lampung terutama pada UKM Mekatronika dan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) dimana pada tahun 2025 mengemban jabatan sebagai kepala divisi Riset dan Pengembangan Teknologi pada UKM Mekatronika kemudian pada Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) mengemban jabatan sebagai anggota bidang Dana dan Usaha (DANUS). Pada tahun 2025 juga penulis menjadi perwakilan Program Studi pada ajang Pemilihan Mahasiswa Berprestasi Tingkat Fakultas (PILMAPRES). Penulis juga melakukan kuliah kerja lapangan di PT Bukit Asam Tbk ( Unit Pertambangan Tanjung Enim ) pada tanggal 30 Juni - 30 September 2025 dengan judul laporan “Perbaikan *Drive Unit Selective Breaker Rotary Coal Conveyor* 01 di PT Bukit Asam Tbk”. Serta penulis juga melakukan perancangan dan pembuatan alat sistem kolektor surya PV/T dibawah bimbingan bapak Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.

## ***Motto***

***“Allah tidak membebani seseorang  
melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”  
(QS. Al-Baqarah: 286)***

***“Kerja keras, do’a dan ketekunan adalah  
kunci dari setiap keberhasilan.”***

***“Elegance in thought, excellence in action.”  
(Keanggunan dalam berpikir, keunggulan  
dalam bertindak)***

## **PERSEMBAHAN**

Karya sederhana ini adalah ungkapan bakti dan terima kasih yang tak terhingga kepada Ibu dan Bapak tercinta. Setiap halaman di dalamnya adalah simbol hormat dan kasih sayangku, yang kurasa takkan pernah cukup untuk membalas limpahan cinta dan dukungan yang telah kalian berikan. Semoga tugas akhir ini menjadi permulaan kebahagiaan bagi Ibu dan Bapak, karena aku menyadari, belum banyak hal membanggakan yang dapat kupersembahkan.

Terima kasih tak terhingga, Ibu dan Bapak, atas motivasi yang selalu membakar semangatku, atas kasih sayang yang senantiasa menyejukkan, atas doa yang tak pernah putus, dan atas bimbingan yang mengarahkanku menjadi pribadi yang lebih baik. Semoga Allah SWT melimpahkan kesehatan dan usia yang panjang kepada kalian, agar selalu dapat mendampingi setiap langkah kecilku.

Kupersembahkan pula karya ini untuk kedua orang tua serta keluarga terkasih, dan untuk semua pihak yang dengan tulus telah mendukung, mendidik, dan membimbing penulis selama ini.

## SANWACANA

### **Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh**

Penulis menyampaikan rasa syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan perlindungan-nya, yang memungkinkan penulis menyelesaikan tugas akhir dan laporan proyek akhir dengan sukses serta dalam kondisi sehat. Laporan proyek akhir ini disusun sebagai dokumentasi tertulis dari hasil pengerjaan tugas akhir. Diharapkan karya tulis ini dapat berkontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan di bidang energi baru dan terbarukan, khususnya solar surya. Proyek akhir ini juga merupakan persyaratan untuk meraih gelar Ahli Madya Teknik di jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung. Penulis berharap karya ini bermanfaat bagi pembaca dan dapat dikembangkan lebih lanjut.

Selesainya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan khususnya kepada:

1. Persembahan ini penulis tujukan kepada kedua orang tua tercinta, ayahanda Zarman Abidin dan ibunda Lasnah (almarhumah), serta seluruh keluarga penulis atas segala doa, bimbingan, dukungan dan motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis selama menempuh proses perjalanan pendidikan.
2. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., ASEAN Eng. Selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Zulhanif, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Diploma 3 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

6. Bapak Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.
7. Tim Laboratorium Termodinamika, yaitu Muhammad Bilal, Imam Prasetyo, Muhammad Fauzan, serta rekan proyek akhir Ahmad Fuad Hasyim, dan Bapak Sugiman selaku teknisi laboratorium, yang telah memberikan bantuan, kepada penulis selama pelaksanaan proyek akhir.
8. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
9. Seluruh staf dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
10. Teman - teman Angkatan 2023 yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, serta menjadi tempat berbagi selama proses penyusunan laporan proyek akhir ini.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih dan penyayang membalas segala kebaikan kalian.

Penulis mengakui bahwa laporan proyek akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan proyek akhir ini. Semoga proyek akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca, aamiin.

**Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

Bandar Lampung, 05 Maret 2026

Penulis

**Aldo Anggara**  
**NPM. 2305101016**

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>viii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Sel Surya.....	5
2.2 Jenis-Jenis Panel Surya.....	6
2.3 Karakteristik Panel Surya (Solar Cell).....	8
2.4 Prinsip Kerja Panel Surya.....	9
2.5 Pengaruh Pendinginan Terhadap Panel Surya.....	10
2.6 Sirip Pendingin (HeatSink Fin).....	10
2.7 Pelat Alumunium.....	12
2.8 Pemotongan (Cutting).....	13
2.9 Proses Bending (Pembengkokan Pelat).....	14
2.10 Sambungan Mekanis (Rivet Joint).....	15
2.11 Perpindahan Panas (Heat Exchanger).....	16

<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>19</b>
3.1 Alat dan Bahan.....	19
3.2 Diagram Alur (Flow Chart) .....	31
3.3 Prosedur Manufaktur Sirip Pendingin .....	32
3.4 Pengujian dan Pengambilan Data .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
4.1 Alat Pendukung Pengujian.....	40
4.2 Pembuatan Sirip Konfigurasi Paralel.....	41
4.3 Kondisi Aktual Pengujian .....	47
4.4 Hasil Pengujian Sistem PV/T.....	52
4.5 Pembahasan Grafik .....	54
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Modul Panel Surya.....	5
Gambar 2.2 Penel Surya Jenis <i>Monocrystalline</i> .....	6
Gambar 2.3 Penel Surya Jenis <i>Polycrystalline</i> .....	7
Gambar 2.4 Penel Surya <i>Thin Film Solar Cell</i> .....	8
Gambar 2.5 Ilustrasi Kerja <i>Photovoltaic Cell</i> .....	9
Gambar 2.6 Jenis – Jenis <i>Fin</i> .....	11
Gambar 2.7 Pelat Alumunium .....	12
Gambar 2.8 Mesin Potong <i>Plate</i> .....	13
Gambar 2.9 Alat Bending Portabel.....	14
Gambar 2.10 Sambungan <i>Rivet</i> .....	15
Gambar 3.1 Mesin Gerinda Potong .....	19
Gambar 3.2 Mesin Bor Tangan .....	20
Gambar 3.3 Alat Bending Manual.....	20
Gambar 3.4 Tang Rivet.....	21
Gambar 3.5 Tang Jepit.....	22
Gambar 3.6 Meteran Lipat.....	22
Gambar 3.7 Modul Surya 20Wp <i>Polycrystalline</i> .....	23
Gambar 3.8 Pelat Alumunium 1 mm .....	24
Gambar 3.9 Paku Rivet 3,2 mm.....	24
Gambar 3.10 <i>Thermal Adhesive</i> GD900-1 .....	25
Gambar 3.11 <i>Data Logger</i> BTM-4208SD.....	26
Gambar 3.12 <i>Solar Power Meter</i> SPM-1116SD .....	27
Gambar 3.13 <i>Solar Charge Controller</i> MPPT 70A.....	27
Gambar 3.14 <i>Digital Watt Meter</i> .....	28
Gambar 3.15 <i>Thermocouple</i> Tipe – K .....	29
Gambar 3.16 <i>Lead – Acid Battery</i> .....	29
Gambar 3.17 Kontainer Box 75 Liter .....	30
Gambar 3.18 Diagram Alir ( <i>Flow Chart</i> ).....	31
Gambar 3.19 Sketsa Sirip .....	33

Gambar 3.20 Sketsa Sistem PV/T .....	34
Gambar 3.21 Proses Persiapan Air .....	35
Gambar 3.22 Pemasangan <i>Thermocouple</i> .....	36
Gambar 3.23 Pemasangan Sistem Kelistrikan.....	36
Gambar 3.24 Mengatur Intensitas Solar Simulator .....	37
Gambar 3.25 Pemantauan Temperatur Pengujian .....	37
Gambar 3.26 Proses Pengambilan Data Temperatur .....	38
Gambar 3.27 Pengukuran Intensitas Radiasi .....	38
Gambar 3.28 Pengukuran Keluaran Listrik .....	39
Gambar 3.29 Kondisi Saat Pengujian .....	39
Gambar 4.1 Skema Model Alat Pengujian Sistem PV/T.....	40
Gambar 4.2 Proses Pengukuran Spesifikasi Sirip.....	41
Gambar 4.3 Proses Penandaan ( <i>Marking</i> ) .....	42
Gambar 4.4 Pemotongan Pelat Aluminium .....	42
Gambar 4.5 Merapikan Hasil dari Pemotongan .....	43
Gambar 4.6 Proses Bending Manual (Profil L) .....	43
Gambar 4.7 Proses Pengeboran Rangka .....	44
Gambar 4.8 Pembersihan Permukaan Modul .....	45
Gambar 4.9 Proses Aplikasi <i>Thermal Adhesive</i> .....	45
Gambar 4.10 Penyambungan Mekanis Permanen .....	46
Gambar 4.11 Hasil Pembuatan Sirip 35 mm pada Sistem PV/T .....	46
Gambar 4.12 Kondisi Sistem PV/T Saat Pengujian Berlangsung .....	47
Gambar 4.13 Sumber Radiasi Pengujian Sistem PV/T .....	47
Gambar 4.14 Bak Air dan Media Pendingin .....	48
Gambar 4.15 Kondisi Perendaman Sirip Pendingin .....	49
Gambar 4.16 Kondisi <i>Thermocouple</i> di Permukaan Panel.....	49
Gambar 4.17 Kondisi Perekaman Temperatur Panel .....	50
Gambar 4.18 Kondisi Pengambilan Daya Keluaran.....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Metode Perendaman.....	52
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tanpa Perendaman .....	52
Tabel 4.3 Hasil Perbandingan dengan Penelitian Sejenis.....	53

## DAFTAR GRAFIK

Gambar 4.19 Grafik Respon Pada Berbagai Kondisi Pengujian .....	54
Gambar 4.20 Grafik Daya Keluaran Sistem PV/T .....	56
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Temperatur dengan Penelitian Sejenis .....	57
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Data dengan Penelitian Sejenis .....	58
Gambar 4.23 Grafik Intensitas Radiasi Solar Simulator .....	59

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Keterbatasan cadangan energi fosil serta meningkatnya emisi gas rumah kaca mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi matahari karena ketersediaannya yang melimpah dan dapat dimanfaatkan secara kontinu. Pemanfaatan energi matahari dilakukan melalui konversi energi radiasi menjadi energi listrik menggunakan panel surya (solar panel) yang bekerja berdasarkan prinsip efek *photovoltaic* pada material semikonduktor. Indonesia yang berada di wilayah tropis memiliki potensi energi surya yang sangat tinggi, ditunjukkan oleh intensitas penyinaran matahari yang relatif besar dan merata sepanjang tahun, sehingga teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sangat potensial dikembangkan baik pada skala rumah tangga maupun sektor komersial dan industri.

Meskipun demikian, kinerja modul *photovoltaic* sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional, terutama temperatur kerja modul. Ketika panel surya menerima radiasi matahari secara terus menerus, sebagian energi yang diterima akan berubah menjadi panas sehingga menyebabkan peningkatan temperatur pada permukaan modul. Peningkatan temperatur ini dapat menurunkan efisiensi konversi energi listrik karena karakteristik listrik sel surya, khususnya tegangan keluaran, cenderung menurun seiring meningkatnya temperatur. Oleh karena itu, pengendalian temperatur modul *photovoltaic* menjadi salah satu aspek penting untuk menjaga performa dan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya dengan menerapkan sistem pendinginan yang mampu menurunkan temperatur modul agar kinerja panel surya tetap optimal.

Salah satu metode untuk menurunkan temperatur modul *photovoltaic* adalah dengan menambahkan sistem pendinginan menggunakan sirip pendingin (*heatsink fins*) yang berfungsi memperluas luas permukaan perpindahan panas sehingga panas dapat dilepaskan lebih cepat. Selain itu, penggunaan media air melalui metode perendaman juga dapat meningkatkan laju perpindahan panas karena air memiliki kapasitas panas dan konduktivitas termal yang lebih baik dibandingkan udara. Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T) dengan penambahan sirip pendingin aluminium konfigurasi paralel dengan jarak antar sirip 35 mm serta pengujian menggunakan metode perendaman air dengan variasi kedalaman 25% dan 50% menggunakan solar simulator.

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman terhadap prinsip kerja sistem *photovoltaic* serta faktor-faktor yang memengaruhi efisiensinya. Melalui penelitian ini, penulis juga mengembangkan kemampuan dalam merancang dan mengevaluasi sistem konversi energi surya. Selain itu, alat yang dihasilkan diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan serta menjadi referensi penelitian selanjutnya dan media pendukung kegiatan praktikum agar proses pembelajaran lebih aplikatif. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara akademis maupun praktis.

## 1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari pelaksanaan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat dan menghubungkan sirip konfigurasi paralel pada sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T) dengan jarak antar sirip 35 mm.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan perendaman 25% dan 50% terhadap kinerja sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T) dengan jarak antar sirip sebesar 35 mm.
3. Membandingkan kinerja sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T) dengan jarak antar sirip 35 mm terhadap penelitian sejenis yang menggunakan jarak antar sirip 70 mm.

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Pengujian dilakukan menggunakan solar simulator dengan intensitas radiasi terkontrol dalam laboratorium tanpa membahas variasi cuaca di lapangan secara langsung.
2. Permasalahan dibatasi pada pengaruh temperatur modul PV terhadap kinerja listrik tanpa membahas aspek ekonomi dan umur pakai modul.
3. Analisis kinerja sistem dibatasi pada temperatur modul dan daya listrik tanpa perhitungan efisiensi termal maupun koefisien perpindahan panas secara teoritis.
4. Penelitian ini tidak menghitung efektivitas sirip (*fin effectiveness*) secara teoritis menggunakan persamaan perpindahan panas pada sirip.

### **1.4 Sistematika Penulisan**

Berikut adalah susunan bab dalam laporan proyek akhir ini, sebagai berikut:

#### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan proyek akhir.

#### **2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan penelitian, seperti energi terbarukan, energi surya, sistem pendinginan, sirip pendingin, proses manufaktur serta konsep perpindahan panas.

#### **3. BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan alat dan bahan, prosedur penelitian, proses pembuatan sistem PV/T serta metode pengujian yang dilakukan.

#### **4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil pengujian yang diperoleh selama penelitian serta analisis dan pembahasan terhadap data yang dihasilkan, seperti temperatur modul, daya keluaran listrik, serta perbandingan hasil pengujian pada berbagai kondisi dari sistem pendinginan.

#### **5. BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi sumber literatur yang digunakan sebagai referensi dalam penyusunan laporan proyek akhir.

#### **LAMPIRAN**

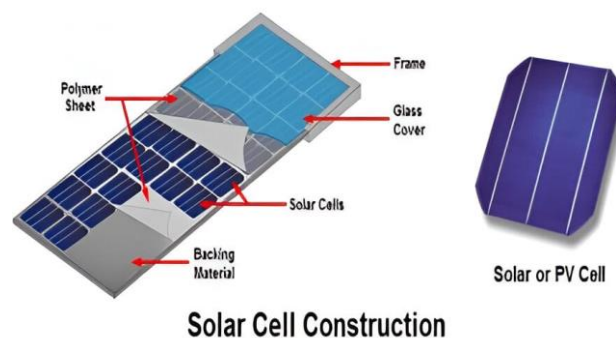
Berisi data pendukung penelitian seperti data pengujian, dokumentasi proyek akhir, serta data pendukung lainnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sel Surya

Sel surya merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Karena bekerja berdasarkan prinsip tersebut, sel surya juga dikenal sebagai sel fotovoltaiik (*photovoltaic cell*). Sel surya umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, yang memiliki kemampuan untuk melepaskan elektron ketika terkena cahaya matahari. Elektron-elektron yang bergerak tersebut kemudian menghasilkan arus listrik searah (DC). Ketika beberapa sel surya disusun secara seri, sistem ini dapat menghasilkan tegangan sekitar 16V, yang cukup untuk mengisi atau menyuplai aki bertegangan 12V. Untuk mencapai tegangan keluaran yang lebih tinggi, diperlukan lebih banyak sel surya. Gabungan beberapa sel surya ini dikenal sebagai panel surya atau modul surya. Dengan menyusun sekitar 10–20 atau lebih panel surya, dapat dihasilkan arus dan tegangan yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari (Purwoto, 2018). Selain itu, kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan temperatur kerja modul, sehingga diperlukan sistem atau metode tertentu untuk menjaga performa panel tetap optimal.



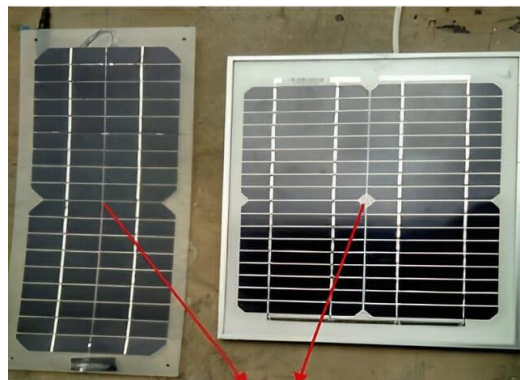
Gambar 2.1 Modul panel surya (Harahap, 2020)

## 2.2 Jenis-Jenis Panel Surya

Adapun beberapa jenis – jenis panel surya itu sendiri yakni:

### 2.2.1 Monokristal Silikon (*Monocrystalline Silicon*)

Menurut (Rudiyanto, 2023), panel surya tipe monokristalin terbuat dari irisan tipis batangan kristal silikon murni. Teknik pembuatannya hampir menyerupai proses pengolahan keripik pisang, di mana satu bahan utama diiris menjadi kepingan tipis, namun pengirisan kristal silikon murni memerlukan teknologi khusus dengan tingkat presisi yang tinggi. Penampang *monocrystalline silicon* memiliki kemampuan menyerap cahaya matahari lebih optimal dibandingkan jenis sel surya lainnya sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Selain memiliki berbagai keunggulan, *monocrystalline silicon* juga dikenal memiliki umur pakai yang panjang, umumnya dapat bertahan lebih dari 25 tahun dengan penurunan efisiensi yang relatif kecil setiap tahunnya. Namun, kinerjanya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, sehingga pada kondisi cuaca mendung kemampuan penyerapan energi menjadi kurang optimal dan efisiensinya cenderung menurun. Selain itu, performa panel juga dipengaruhi oleh temperatur kerja modul, di mana peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan efisiensi keluaran listrik.



Gambar 2.2 Penel surya jenis *monocrystalline* (Budiyanto, 2021)

### 2.2.2 Polikristalin Silikon (*Polycrystalline Silicon*)

*Polycrystalline silicon* merupakan jenis panel surya yang umum digunakan di banyak jenis bangunan. Kebanyakan panel surya yang ditemukan di Indonesia menggunakan jenis yang satu ini. Teknologi panel surya tersebut terbuat dari batang silikon yang bisa dicairkan. *Polycrystalline silicon* memiliki kelebihan dari segi susunan yang lebih rapat. Karakteristik *polycrystalline silicon* adalah mempunyai tampilan yang cukup unik. Panel surya *monocrystalline* merupakan panel surya yang paling efisien menghasilkan energi, namun kelemahannya adalah efisiensi akan menurun drastis pada cuaca berawan. Sedangkan panel surya *polycrystalline* memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan jenis *monocrystalline*. Namun demikian, panel jenis *polycrystalline* ini mampu menghasilkan energi listrik di cuaca mendung atau berawan (Pratama, 2018).

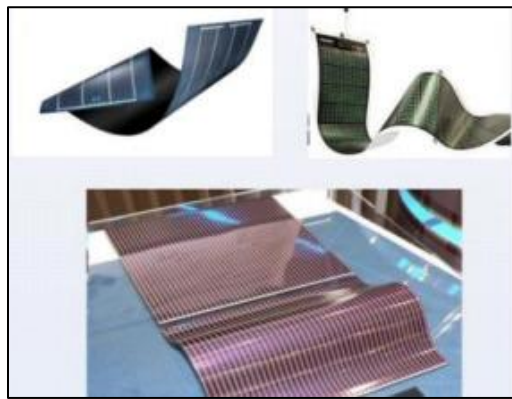


Gambar 2.3 Penel surya jenis *polycrystalline* (Pratama, 2018).

### 2.2.3 *Thin Film Solar Cell*

Adalah jenis sel surya yang menggunakan lapisan tipis material fotovoltaiik untuk menghasilkan listrik dari energi matahari. Sel surya film tipis dibuat dengan mengendapkan atau menumpuk lapisan material semikonduktor yang relatif tipis (dalam kisaran beberapa mikrometer) di atas substrat atau permukaan yang

mendukung. Material semikonduktor ini dapat terdiri dari berbagai senyawa, termasuk silikon amorfus (a – Si), telurium tembaga dan banyak lagi. Basis *solar sel thin film* yang paling umum adalah solar sel yang terbuat dari silikon amorf. *amorphous silicon* (a-Si) yang merupakan bahan non-kristalin dengan kapasitas absorpsi yang tinggi. Karena *amorphous silicon* dikategorikan sebagai sel surya generasi kedua, ukurannya jelas lebih tipis dibandingkan dengan silikon kristal generasi pertama. Jika ketebalan penyerap cahaya pada sel surya generasi pertama adalah 200-300  $\mu\text{m}$ , maka pada generasi kedua ini telah berkurang menjadi 10  $\mu\text{m}$  (Gultom, 2025).



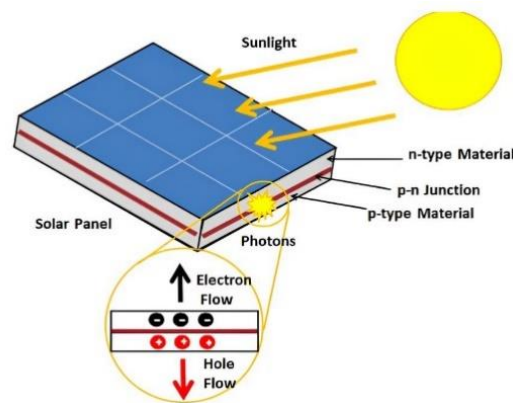
Gambar 2.4 Penel surya *thin film solar cell* (Gultom, 2025).

### 2.3 Karakteristik Panel Surya (*Solar Cell*)

Karakteristik elektrik suatu modul fotovoltaik ditentukan oleh hubungan antara arus (I) dan tegangan (V), yang dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan temperatur. Saat intensitas radiasi meningkat, arus yang dihasilkan juga bertambah proporsional. Namun, jika temperatur sel surya naik, arus akan meningkat tetapi tegangan akan menurun, mengakibatkan penurunan daya yang dihasilkan oleh sel surya. Biasanya, kemampuan sel surya diukur pada suhu ruangan sekitar 25°C. Namun, di daerah tropis atau di Di bawah sinar matahari langsung, suhu permukaan sel surya dapat mencapai 45°C atau lebih, sehingga memengaruhi karakteristik kinerjanya. Pengaruh variasi intensitas radiasi dan temperatur terhadap kemampuan sel surya menghasilkan listrik akan dijelaskan dalam hasil penelitian dan pembahasan berikutnya. Hal ini mencakup respons sel surya terhadap

perubahan intensitas cahaya dan suhu serta dampaknya terhadap arus, tegangan, dan daya keluaran. Bahan utama sel surya adalah silikon, yaitu semikonduktor yang berperan sebagai isolator pada suhu rendah dan konduktor saat menerima energi panas. Sel surya tersusun atas lapisan silikon tipe-n *doping fosfor* dan tipe-p *doping boron* (Pahlevi, 2015).

## 2.4 Prinsip Kerja Panel Surya



Gambar 2.5 Ilustrasi kerja *photovoltaic cell* (Mayasari, 2022).

Menurut (Mayasari, 2022), “Cahaya terdiri dari foton, yaitu partikel pembawa energi elektromagnetik. Saat diserap oleh sel PV, energi foton ditransfer ke elektron dalam semikonduktor di sambungan p-n. Elektron meloncat ke pita konduksi dan meninggalkan lubang (*hole*) di pita valensi, membentuk pasangan pembawa muatan. Dalam kondisi normal, elektron terikat pada atom dan tidak bergerak. Namun saat tereksitasi, elektron bergerak ke sisi-n dan lubang ke sisi-p akibat medan listrik pada sambungan p-n. Gerakan ini menghasilkan arus listrik di dalam sel”, seperti terlihat pada Gambar 2.5. Proses ini dikenal sebagai efek *photovoltaic*, yaitu prinsip dasar yang memungkinkan sel surya mengubah energi cahaya menjadi energi listrik secara langsung tanpa melalui proses mekanik. Efektivitas proses ini dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterima serta kondisi temperatur sel surya selama proses operasi, sehingga pengendalian temperatur menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga kinerja dan efisiensi panel surya, terutama pada kondisi radiasi matahari yang tinggi.

## 2.5 Pengaruh Pendinginan Terhadap Panel Surya

Menurut (Tiyas, 2020) “Panel surya akan bekerja optimal pada suhu sekitar 25°C. Peningkatan suhu akan menurunkan daya yang dihasilkan. Kinerja panel paling baik saat permukaannya tegak lurus terhadap sinar matahari. Penggunaan reflektor dapat memaksimalkan penyerapan cahaya, namun juga meningkatkan suhu panel. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kinerja hingga sekitar 20°C.”

Oleh karena itu penurunan suhu operasional solar panel cenderung menghasilkan panas saat menyerap sinar matahari. Jika suhu panel terlalu tinggi, efisiensi konversi energi surya ke listriknya akan menurun. Dengan pendinginan, suhu operasional panel surya bisa dipertahankan pada tingkat yang lebih rendah, yang dapat meningkatkan efisiensi. Peningkatan efisiensi konversi pendinginan dapat membantu mengurangi resistansi internal dalam solar panel. Semakin rendah suhu operasional, semakin efisien panel dalam mengubah energi matahari menjadi listrik. Dengan demikian, pendinginan dapat meningkatkan output daya dari panel surya.

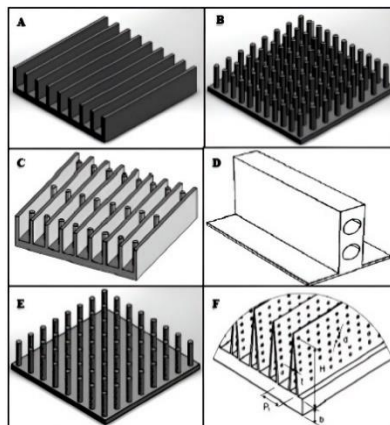
## 2.6 Sirip Pendingin (*HeatSink Fin*)

Sebuah *heatsink* adalah penukar panas pasif yang memindahkan panas yang dihasilkan oleh alat elektronik atau alat mekanis ke medium fluida, sering berupa udara atau cairan pendingin sehingga dapat menurunkan suhu perangkat elektronik maupun alat mekanis. Di sebuah komputer, *heatsink* digunakan untuk mendinginkan unit pemrosesan pusat atau prosesor. *Heatsink* digunakan pada perangkat semikonduktor berkekuatan tinggi seperti transistor daya dan optoelektronik seperti laser dan diode pemancar cahaya (LED), dimana sebuah heat sink dirancang untuk memaksimalkan luas permukaan kontakannya dengan media pendingin yang mengelilinginya, seperti udara. Kecepatan udara, pemilihan perangkat, desain sirip dan perlakuan permukaan merupakan faktor yang mempengaruhi kinerja *heatsink*. Sebuah *heatsink* biasanya terbuat dari tembaga atau aluminium.

Tembaga digunakan karena memiliki banyak sifat yang diinginkan untuk penukar panas yang efisien dan tahan lama. Pertama, tembaga adalah konduktor panas yang sangat baik. Ini berarti konduktivitas termal tembaga yang tinggi memungkinkan panas melewatinya dengan cepat. Aluminium digunakan dalam aplikasi karena faktor berat aluminium yang ringan. Sebuah *heatsink* mentransfer energi panas dari perangkat suhu yang lebih tinggi ke medium fluida dengan suhu yang lebih rendah. Fluida biasanya adalah udara, tapi bisa juga berupa air atau minyak. Jika fluida pendingin adalah air, *heatsink* sering disebut *cold plate* (Fahrudin, 2024).

Pendingin bersirip diklasifikasikan ke dalam dua jenis utama:

### 2.6.1 *Plate Fin HeatSink* (PFHS) dan *Pin HeatSink* (PHS)

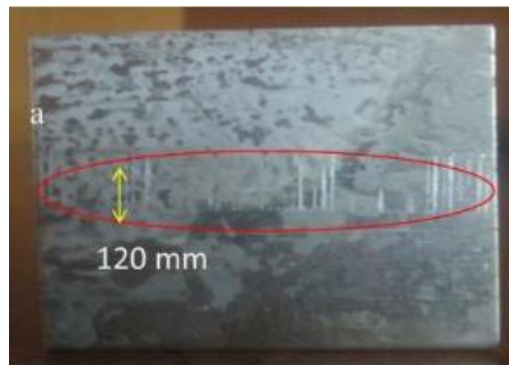


Gambar 2.6 Jenis – jenis *fins* (Fahrudin, 2024).

Pendingin semacam itu dibuat dan diproduksi oleh beberapa perusahaan, baik besar maupun kecil, seperti Airedale di Inggris, Raypak di Amerika Serikat, dan lain-lain. Satu set bahan pipa dasar yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi, seperti tembaga dan aluminium, dapat digunakan untuk membuat *heatsink* tergantung pada biaya dan kemudahan pembuatannya. Selain itu, pemilihan material juga mempertimbangkan kemampuan pelepasan panas, berat material, serta ketahanan terhadap korosi agar kinerja pendinginan tetap optimal selama proses operasi.

## 2.7 Pelat Alumunium

Menurut (Koesgi, 2021) “Aluminium adalah logam ringan yang memiliki ketahanan korosi yang baik dan penghantar listrik yang baik. Selain itu aluminium adalah logam yang mempunyai mechanical properties dan kemampuan untuk pengelasan yang relatif baik. Selain itu, aluminium pula mempunyai kelebihan antara lain massa jenisnya yang rendah, kemampuan menunda korosi, harga relatif murah, konduktor listrik dan penghantar panas yang baik, dan juga merupakan material yang memiliki ketahanan oksidasi”. Pelat aluminium juga memiliki sifat keuletan dan kemampuan bentuk (*formability*) yang baik, sehingga mudah diproses dengan berbagai metode manufaktur seperti pemotongan, pembengkokan (*bending*), pengeboran, dan pengefraisan.



Gambar 2.7 Pelat alumunium (Nugroho, 2016)

Dalam penggunaannya, pelat aluminium banyak dimanfaatkan pada industri otomotif, dirgantara, peralatan rumah tangga, konstruksi ringan, serta pembuatan casing dan rangka mesin. Selain ringan dan tahan korosi, pelat aluminium juga memiliki konduktivitas panas dan listrik yang baik serta mudah didaur ulang, sehingga mendukung aspek efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Dengan karakteristik tersebut, pelat aluminium menjadi salah satu material yang sangat penting dan banyak digunakan dalam bidang manufaktur modern, termasuk pada aplikasi yang memerlukan perpindahan panas yang baik seperti sistem pendingin dan komponen penukar kalor.

## 2.8 Pemotongan (*Cutting*)

Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk dari logam (komponen mesin) dengan cara memotong. Selain itu Proses pemotongan logam merupakan kegiatan terbesar yang dilakukan pada industri manufaktur, proses ini mampu menghasilkan komponen yang memiliki bentuk yang kompleks dengan akurasi geometri dan dimensi tinggi. Prinsip pemotongan logam dapat didefinisikan sebagai sebuah aksi dari sebuah alat potong yang dikontakkan dengan sebuah benda kerja untuk membuang permukaan benda kerja tersebut dalam bentuk geram. Meskipun definisinya sederhana akan tetapi proses pemotongan logam adalah sangat kompleks. (Hara dkk, 2016).

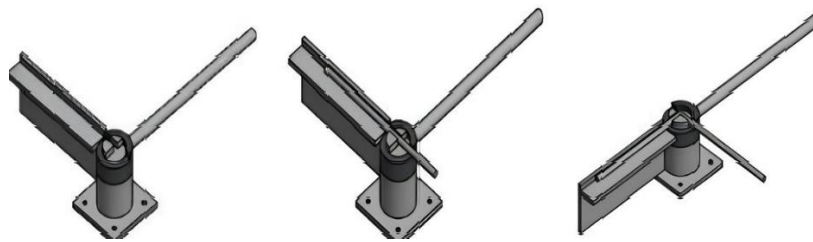


Gambar 2.8 Mesin potong (Darmanto dkk, 2020)

Proses pemotongan dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti pembubutan, pengefraisan, pengeboran, dan penggerindaan, tergantung pada bentuk dan fungsi komponen yang akan dibuat. Pembubutan digunakan untuk menghasilkan bentuk silindris, pengefraisan untuk membuat permukaan datar atau alur, pengeboran untuk membuat lubang, sedangkan penggerindaan biasanya digunakan sebagai proses finishing untuk memperoleh tingkat kehalusan dan ketelitian yang lebih tinggi. Setiap metode memiliki karakteristik dan aplikasi masing-masing sesuai kebutuhan produksi, sehingga pemilihan proses pemesinan yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil, efisiensi waktu pengerjaan, dan umur pakai komponen.

## 2.9 Proses Bending (Pembengkokan Pelat)

Proses bending merupakan pembentukan logam yang umumnya menggunakan lembaran pelat atau batang baik dari bahan logam ferro maupun logam *non ferro* dengan cara ditekuk, dimana pada proses bending ini terjadi pemuluran atau peregangan pada sumbu bidang netral sepanjang daerah bending dan menghasilkan garis bending yang lurus. Fenomena perkembangan pembentukan logam melalui proses bending ini terjadi pada industri fabrikasi permesinan dan bengkel las pada daerah perkotaan sampai pelosok desa baik yang berskala kecil maupun berskala besar. Hal tersebut dipicu oleh semakin banyaknya penggunaan berbagai macam teknologi mekanisasi terutama dalam bidang ketahanan dan keamanan pangan dalam kehidupan masyarakat sehari-hari seperti teknologi proses pasca panen dan teknologi- teknologi mekanisasi pertanian lainnya (Suyuti, 2020).



Gambar 2.9 Alat bending portabel (Purwanto dkk, 2025)

Secara umum, proses *bending* memiliki keunggulan berupa efisiensi waktu, tidak menghasilkan limbah material yang signifikan, serta mampu menghasilkan bentuk yang kuat karena tidak terjadi pemotongan serat material. Namun, proses ini juga memiliki keterbatasan, seperti kemungkinan terjadinya retak pada material yang getas serta keterbatasan radius tekuk minimum yang dapat dicapai. Oleh karena itu, pemilihan parameter proses dan alat *bending* yang tepat sangat diperlukan untuk menjamin kualitas dan keandalan produk hasil pembengkokan, serta untuk meminimalkan terjadinya cacat bentuk dan tegangan sisa pada material sehingga dimensi dan kekuatan produk tetap sesuai dengan perencanaan dan kebutuhan penggunaan.

## 2.10 Sambungan Mekanis (*Rivet Joint*)

Penyambungan mekanis dengan paku keling (*rivet joint*) merupakan metode penyambungan permanen yang dilakukan dengan cara mengikat dua atau lebih pelat menggunakan batang logam silinder yang disebut rivet. Rivet dimasukkan ke dalam lubang yang telah dibuat pada pelat-pelat yang akan disambung, kemudian salah satu ujungnya ditekan atau dipukul hingga membentuk kepala baru, sehingga rivet mengunci pelat secara kuat dan tidak dapat dilepas tanpa merusak sambungan. Metode ini banyak digunakan pada struktur yang memerlukan kekuatan sambungan yang stabil dan tahan terhadap getaran.



Gambar 2.10 Sambungan *rivet* (Sugiyanto dkk, 2023)

Keunggulan utama dari sambungan *rivet* adalah kemampuannya untuk digunakan pada material yang sulit atau tidak memungkinkan untuk dilas, seperti pelat aluminium tipis atau kombinasi material berbeda, serta tahan terhadap kelelahan (*fatigue*) dan tidak menimbulkan perubahan sifat material akibat panas seperti pada proses pengelasan. Namun, *rivet joint* memiliki keterbatasan, antara lain memerlukan pembuatan lubang yang dapat mengurangi luas penampang efektif pelat serta membutuhkan waktu dan tenaga lebih dibandingkan sambungan las. Dalam aplikasi industri, sambungan *rivet* banyak digunakan pada struktur pesawat terbang, jembatan baja lama, bodi kendaraan, serta konstruksi ringan dari pelat aluminium karena keandalannya dan kemampuannya menahan beban dinamis dalam jangka waktu yang cukup panjang, sehingga masih banyak diterapkan pada konstruksi yang membutuhkan sambungan kuat dan stabil serta mudah dalam proses pemeriksaan (Juliardi, 2022).

## 2.11 Perpindahan Panas (*Heat Exchanger*)

Menurut (Rachmawati, 2015) “Perpindahan panas adalah energi yang berpindah dikarenakan adanya perbedaan suhu. Proses perpindahan panas terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi. Fenomena ini memunculkan model matematika dari perpindahan panas yang merupakan persamaan diferensial parsial sehingga dibutuhkan sebuah solusi agar diketahui sifat dan karakteristik dari laju perpindahan panas. Penelitian tentang perpindahan panas sudah dilakukan dan dikembangkan dengan beberapa metode numerik, seperti metode beda hingga, metode volume hingga dan metode elemen hingga yang dilakukan dengan bantuan komputasi *computer*.” Seperti yang telah disebutkan terdapat 3 jenis perpindahan panas yaitu:

### 2.11.1 Konduksi

Konduksi adalah salah satu mekanisme perpindahan panas di mana energi panas atau kalor dipindahkan melalui suatu material atau bahan dari bagian yang lebih panas ke bagian yang lebih dingin, tanpa pergerakan massa material secara keseluruhan. Proses ini terjadi akibat adanya perbedaan temperatur di dalam suatu material. Adapun rumus perpindahan panas dengan konduksi, yaitu:

$$Q = - \frac{k A \Delta T}{x} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- $Q$  : Laju perpindahan panas (Watt)
- $k$  : Konduktivitas panas (W/m.°C)
- $A$  : Luasan perpindahan panas arah normal  $Q$  (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  : Beda temperatur (°C)
- $x$  : Ketebalan bahan (m)

### 2.11.2 Konveksi

Perpindahan panas yang melalui suatu zat dan disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat. Perpindahan panas jenis ini terjadi karena perbedaan massa jenis, sehingga fluida yang lebih panas bergerak naik dan digantikan oleh fluida yang lebih dingin. Adapun rumus perpindahan panas konveksi, yaitu:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_w - T_\infty) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- $Q$  : Laju perpindahan panas (Watt)
- $H$  : Koefisien perpindahan panas ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
- $A$  : Luasan perpindahan panas arah normal  $Q$  ( $m^2$ )
- $T_w$  : Temperatur permukaan benda ( $^\circ C$ )
- $T_\infty$  : Temperatur fluida ( $^\circ C$ )

Perpindahan panas konveksi ada dua macam, yaitu:

1. Konveksi Alami (*Natural Convection*)  
Adalah perpindahan panas konveksi yang terjadi akibat perbedaan densitas fluida karena perbedaan temperatur, sehingga fluida panas bergerak naik dan fluida dingin bergerak turun membentuk aliran alami tanpa bantuan alat mekanis.
2. Konveksi Paksa (*Forced Convection*)  
Adalah perpindahan panas konveksi yang terjadi karena aliran fluida dipaksa oleh alat mekanis seperti kipas atau pompa, sehingga laju perpindahan panas dapat diatur melalui kecepatan aliran fluida, misalnya udara yang ditiupkan ke permukaan plat panas atau air yang dipompa dalam pipa penukar panas.

### 2.11.3 Radiasi

Sedangkan perpindahan panas radiasi ialah distribusi energi berupa panas yang terjadi melalui pancaran gelombang cahaya dari suatu zat ke zat yang lain tanpa zat perantara. Persamaan dasar perpindahan panas radiasi adalah:

$$Q = \varepsilon AT^4 \sigma \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$Q$  : Panas yang dipancarkan (Watt)

$\varepsilon$  : Emisivitas *thermal* benda (0 s.d. 1)

$A$  : Luas perpindahan panas (m<sup>2</sup>)

$T$  : Temperatur permukaan benda (°C)

$\sigma$  : Konstanta Stefan-Boltzmann (W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

Untuk benda hitam sempurna, nilai emisivitasnya ( $\varepsilon$ ) adalah 1 dan besar nilai  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>). Nilai ini dikenal sebagai konstanta Stefan-Boltzmann yang digunakan dalam perhitungan perpindahan panas secara radiasi.

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Alat dan Bahan

A. Alat bantu yang digunakan untuk pembuatan sirip pendingin konfigurasi paralel pada panel surya ini adalah sebagai berikut:

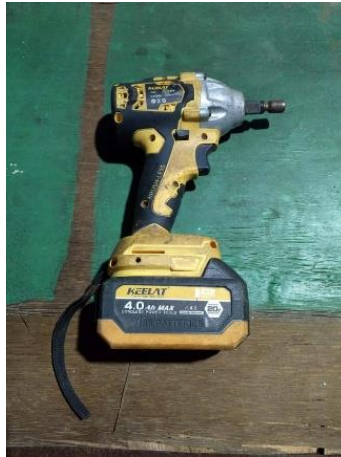
#### 1. Mesin Gerinda Potong



Gambar 3.1 Mesin gerinda potong

Gerinda tangan merupakan alat listrik portabel yang digunakan pada tahap fabrikasi dalam penelitian ini, khususnya untuk proses pemotongan dan perapihan material logam. Alat ini dimanfaatkan untuk memotong plat aluminium serta merapikan tepi hasil potongan pada pembuatan sirip pendingin dan rangka sistem PV/T agar diperoleh dimensi dan kualitas permukaan yang sesuai dengan desain. Gerinda tangan yang digunakan berjenis angle grinder dengan sumber daya listrik AC, tegangan kerja sekitar 220 V, daya motor berkisar 600–750 W, diameter mata gerinda  $\pm 4$  inci, serta kecepatan putar sekitar 10.000–11.000 rpm.

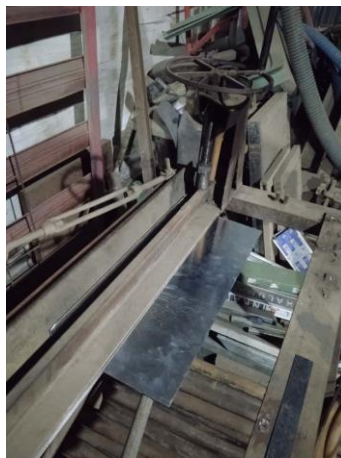
## 2. Mesin Bor Tangan



Gambar 3.2 Mesin bor tangan

Mesin bor tangan merupakan alat listrik portabel yang digunakan pada tahap fabrikasi untuk proses pengeboran dan pemasangan baut pada komponen sistem PV/T. Alat ini digunakan untuk membuat lubang pada rangka dan dudukan sirip pendingin guna mempermudah proses perakitan. Mesin bor yang digunakan berjenis *cordless drill* dengan sumber daya baterai *lithium-ion* berkapasitas sekitar 4,0 Ah, dilengkapi pengaturan kecepatan dan torsi, serta dapat digunakan pada material logam dan *non-logam*.

## 3. Alat Bending Manual



Gambar 3.3 Alat bending manual

Alat bending manual merupakan peralatan mekanis yang digunakan pada tahap fabrikasi untuk proses pembengkokan plat logam sesuai dengan sudut dan bentuk yang diinginkan. Pada penelitian ini, alat bending manual digunakan untuk membentuk pelat aluminium menjadi dudukan dan komponen sirip pendingin sistem PV/T agar sesuai dengan desain dan dimensi yang telah ditentukan. Proses pembengkokan dilakukan secara manual dengan memanfaatkan gaya mekanis, sehingga menghasilkan sudut tekuk yang presisi dan seragam tanpa merusak struktur material.

#### 4. Tang Rivet



Gambar 3.4 Tang rivet

Tang rivet merek *Tekiro* merupakan alat tangan mekanis yang digunakan pada tahap fabrikasi untuk proses penyambungan komponen logam menggunakan paku rivet sebagai elemen pengikat permanen. Pada penelitian ini, tang rivet digunakan untuk menyambungkan pelat aluminium pada pembuatan sirip pendingin dan rangka sistem PV/T melalui mekanisme deformasi plastis batang rivet akibat gaya tarik yang diberikan oleh alat. Proses ini menghasilkan pembentukan kepala rivet sekunder yang berfungsi mengunci sambungan, sehingga diperoleh ikatan mekanis yang kuat, stabil, dan mampu menahan beban mekanik tanpa memerlukan proses dari pengelasan

## 5. Tang Jepit



Gambar 3.5 Tang jepit

Tang jepit merupakan alat tangan mekanis yang digunakan pada tahap fabrikasi untuk menjepit, menahan, dan menstabilkan posisi komponen selama proses perakitan sistem PV/T. Pada penelitian ini, tang jepit digunakan untuk menahan pelat aluminium dan komponen sirip pendingin agar tidak mengalami pergeseran saat proses pengeboran, perakitan, maupun penyambungan menggunakan paku rivet. Penggunaan tang jepit membantu menjaga ketelitian posisi dan meningkatkan keselamatan kerja selama proses fabrikasi.

## 6. Meteran Lipat



Gambar 3.6 Meteran lipat

Meteran lipat digunakan dalam proses pembuatan sirip untuk mengukur panjang, lebar, serta jarak antar sirip sesuai rancangan yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan sebelum pemotongan plat aluminium agar ukuran sirip seragam dan tepat. Selain itu, alat ini membantu memastikan posisi pemasangan sirip pada absorber sistem PV/T dilakukan dengan akurat dan rapi. Dengan pengukuran yang tepat, konfigurasi sirip yang dihasilkan dapat bekerja optimal dalam meningkatkan perpindahan panas dan mendukung pendinginan modul fotovoltaik.

B. Bahan – bahan yang digunakan untuk pembuatan sirip pendingin konfigurasi paralel pada panel surya ini adalah sebagai berikut:

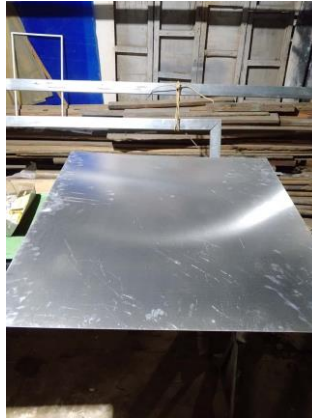
1. Modul Surya 20Wp *Polycrystalline*



Gambar 3.7 Modul surya 20Wp *polycrystalline*

Modul surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya berjenis *polycrystalline* dengan daya puncak (*peak power, Pmax*) sebesar 20 W. Modul ini memiliki tegangan pada daya maksimum ( $V_{mp}$ ) sebesar 18 V dan arus pada daya maksimum ( $I_{mp}$ ) sebesar 1,14 A. Tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) modul sebesar 21,6 V dengan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) sekitar 1,29 A. Secara fisik, modul surya memiliki dimensi 45 cm  $\times$  35 cm dan ketebalan 1,6 cm, sehingga cocok digunakan dalam pengujian sistem PV/T skala laboratorium..

## 2. Pelat Alumunium 1 mm



Gambar 3.8 Pelat alumunium 1 mm

Pelat aluminium yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ketebalan 1 mm dan berfungsi sebagai material utama dalam pembuatan sirip pendingin serta rangka sistem PV/T. Aluminium dipilih karena memiliki konduktivitas termal tinggi sekitar  $232 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , massa jenis ringan, dan ketahanan baik terhadap korosi. Ketebalan 1 mm dipilih untuk keseimbangan perpindahan panas, kekuatan mekanik, serta kemudahan fabrikasi seperti pemotongan, pembungkakan, pengeboran, dan penyambungan menggunakan paku rivet.

## 3. Paku Rivet 3,2 mm



Gambar 3.9 Paku rivet 3,2 mm

Paku rivet yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter 3,2 mm dan diaplikasikan untuk penyambungan plat aluminium dengan ketebalan 1 mm. Pemilihan diameter rivet tersebut didasarkan pada kesesuaian ketebalan material dan kapasitas penguncian rivet, sehingga mampu menghasilkan sambungan permanen melalui mekanisme deformasi plastis batang rivet dengan kekuatan mekanik memadai serta meminimalkan risiko deformasi lokal pada pelat aluminium. Selain itu, penggunaan paku rivet dipilih karena proses pemasangannya sederhana, tidak memerlukan pemanasan, serta mampu menjaga kestabilan struktur sambungan selama pengujian berlangsung.

#### 4. *Thermal Adhesive* GD900-1



Gambar 3.10 *Thermal adhesive* GD900-1

*Thermal adhesive* yang digunakan dalam penelitian ini adalah merek GD900-1 yang berfungsi sebagai perekat sekaligus media penghantar panas antara modul surya, sirip pendingin, dan pelat aluminium. Material ini memiliki konduktivitas termal sekitar  $6,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  sehingga membantu meningkatkan perpindahan panas dan mengurangi hambatan termal pada permukaan kontak selama pengujian. Penggunaan *thermal adhesive* juga memastikan sambungan antar komponen menjadi lebih rapat dan stabil, sehingga panas dari modul PV dapat disalurkan secara lebih efektif menuju sirip pendingin untuk mendukung proses pendinginan sistem PV/T.

C. Berikut adalah alat – alat yang digunakan dalam pengujian proyek akhir ini adalah sebagai berikut.

1. *Data Logger* BTM-4208SD



Gambar 3.11 *Data logger* BTM-4208SD

Data logger BTM-4208SD merupakan alat ukur yang digunakan untuk merekam dan menyimpan data temperatur secara kontinu selama pengujian sistem PV/T. Alat ini mendukung beberapa kanal input thermocouple tipe K sehingga memungkinkan pengukuran temperatur pada beberapa titik secara bersamaan, seperti temperatur permukaan modul PV, temperatur sirip pendingin, temperatur pelat absorber, temperatur fluida pendingin, serta temperatur lingkungan sekitar. Dengan kemampuan multi-kanal tersebut, distribusi temperatur pada sistem dapat diamati secara lebih detail dan menyeluruh.

Data logger ini memiliki rentang pengukuran sekitar  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan resolusi  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sehingga mampu memberikan hasil pengukuran yang cukup akurat untuk analisis kinerja termal. Selain itu, alat ini dilengkapi dengan sistem penyimpanan data menggunakan SD card yang memungkinkan pencatatan data secara otomatis dalam interval waktu tertentu tanpa harus dilakukan secara manual. Hal ini sangat membantu dalam memperoleh data temperatur yang stabil dan berkelanjutan selama proses pengujian berlangsung.

## 2. *Solar Power Meter* SPM-1116SD



Gambar 3.12 *Solar power meter* SPM-1116SD

*Solar Power Meter* SPM-1116SD merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari (irradiance) yang diterima permukaan modul surya selama pengujian. Alat ini memiliki rentang pengukuran 0-2000 W/m<sup>2</sup>, resolusi 0,1 W/m<sup>2</sup>, dengan akurasi sekitar  $\pm 5\%$  dari pembacaan. Alat ini juga dilengkapi fitur data logging menggunakan SD card sehingga data intensitas radiasi dapat direkam secara kontinu sebagai parameter analisis kinerja sistem PV/T.

## 3. *Solar Charge Controller* MPPT 70A



Gambar 3.13 *Solar charge controller* MPPT 70A

*Solar Charge Controller Perfect Suitor MPPT 70A* merupakan komponen yang berfungsi mengatur proses pengisian energi listrik dari modul surya ke baterai serta melindungi sistem dari kondisi *overcharge* dan *overdischarge*. *Solar charge controller* ini bekerja dengan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mengoptimalkan daya keluaran modul surya. Alat ini memiliki tegangan kerja 12/24 V DC dengan arus pengisian maksimum hingga 70 A, serta dilengkapi sistem proteksi dan indikator kondisi pengisian untuk menjaga kestabilan dan keamanan operasi sistem selama pengujian.

#### 4. *Digital Watt Meter*



Gambar 3.14 *Digital watt meter*

*Digital Watt Meter* merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya keluaran modul surya selama proses pengujian. Alat ini dipasang pada rangkaian beban untuk memantau performa listrik sistem secara langsung. *Digital watt meter* yang digunakan memiliki rentang pengukuran tegangan sekitar 0–60 V DC dan arus hingga 100 A, serta menampilkan nilai daya secara real time sehingga memudahkan proses pengambilan dan analisis data kinerja sistem PV/T. Penggunaan alat ini membantu memastikan data daya keluaran sesuai kondisi operasi sistem selama pengujian berlangsung.

## 6. *Thermocouple* Tipe – K



Gambar 3.15 *Thermocouple* tipe – K

*Thermocouple* tipe K merupakan sensor temperatur yang digunakan untuk mengukur suhu pada beberapa titik pengujian, seperti permukaan modul PV, sirip pendingin, dan temperatur lingkungan. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip efek *Seebeck*, yaitu perubahan tegangan akibat perbedaan temperatur pada dua jenis logam yang berbeda. *Thermocouple* tipe K memiliki rentang pengukuran temperatur sekitar  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respon pengukuran yang cepat, serta ketahanan yang baik terhadap temperatur tinggi, sehingga sesuai digunakan pada pengujian kinerja termal sistem PV/T.

## 7. *Lead – Acid Battery*



Gambar 3.16 *Lead – acid battery*

Baterai yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *Valve Regulated Lead-Acid Battery* (VRLA) dengan tipe LC-V127R2NA yang berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik hasil konversi modul surya sebelum disalurkan ke beban. Baterai ini memiliki tegangan nominal 12 V dengan kapasitas 7,2 Ah (20 HR). Secara fisik, baterai memiliki dimensi 151 × 65 × 95 mm (P × L × T) dengan berat sekitar 2,4 kg, sehingga sesuai digunakan pada sistem PLTS skala laboratorium untuk menjaga kestabilan suplai daya selama proses pengujian berlangsung.

#### 8. Kontainer Box 75 Liter

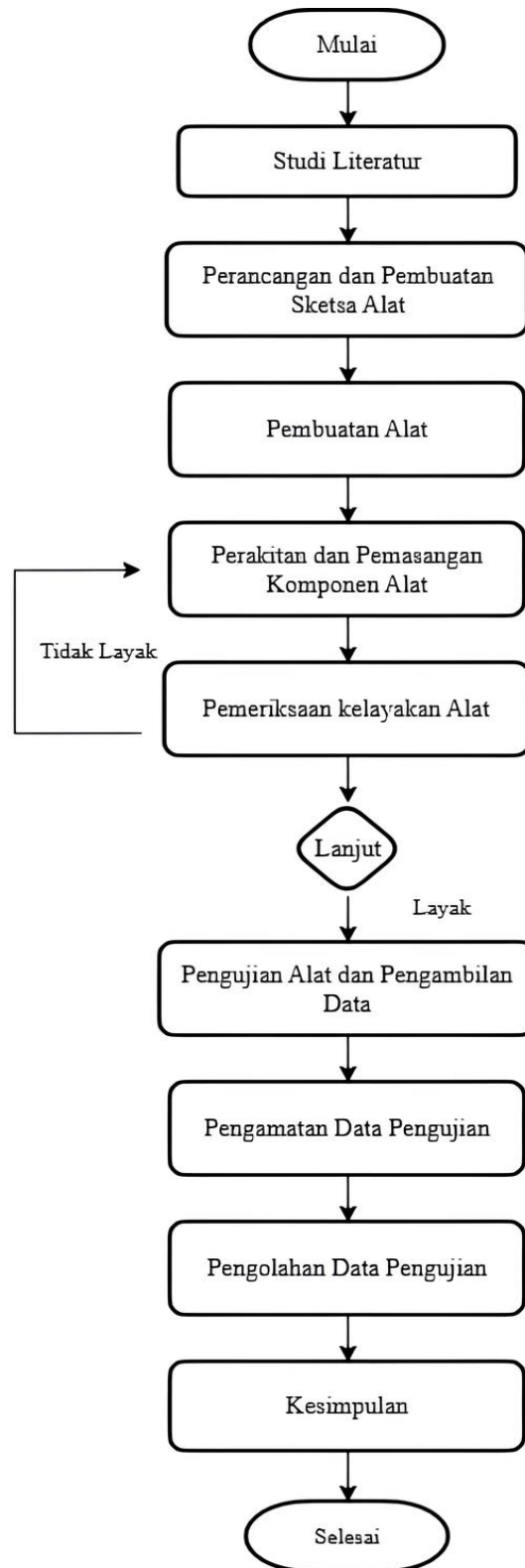


Gambar 3.17 Kontainer box 75 liter

Kontainer box digunakan sebagai wadah media air pada proses pengujian perendaman sirip dalam sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T). Kontainer ini berfungsi menampung air sebagai media pendingin yang bersentuhan langsung dengan sirip pendingin sehingga proses perpindahan panas dari modul PV ke fluida pendingin dapat berlangsung secara efektif. Kontainer box yang digunakan memiliki kapasitas sekitar 75 liter, sehingga mampu menjaga kestabilan volume air serta memudahkan pengaturan variasi kedalaman perendaman sirip selama proses pengujian. Selain itu, penggunaan kontainer box juga membantu menjaga kondisi pengujian tetap terkontrol dan aman.

### 3.2 Diagram Alur (*Flow Chart*)

Tahapan dalam pembuatan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.18 Diagram alur (*flow chart*)

### 3.3 Prosedur Manufaktur Sirip Pendingin

Adapun prosedur pembuatan sirip pendingin dengan konfigurasi paralel adalah sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

Tahap awal mencakup kegiatan penelusuran literatur serta persiapan seluruh material dan peralatan yang dibutuhkan dalam proses pembuatan dan pengujian sirip pendingin berkonfigurasi paralel.

2. Tahap Pembuatan Sketsa

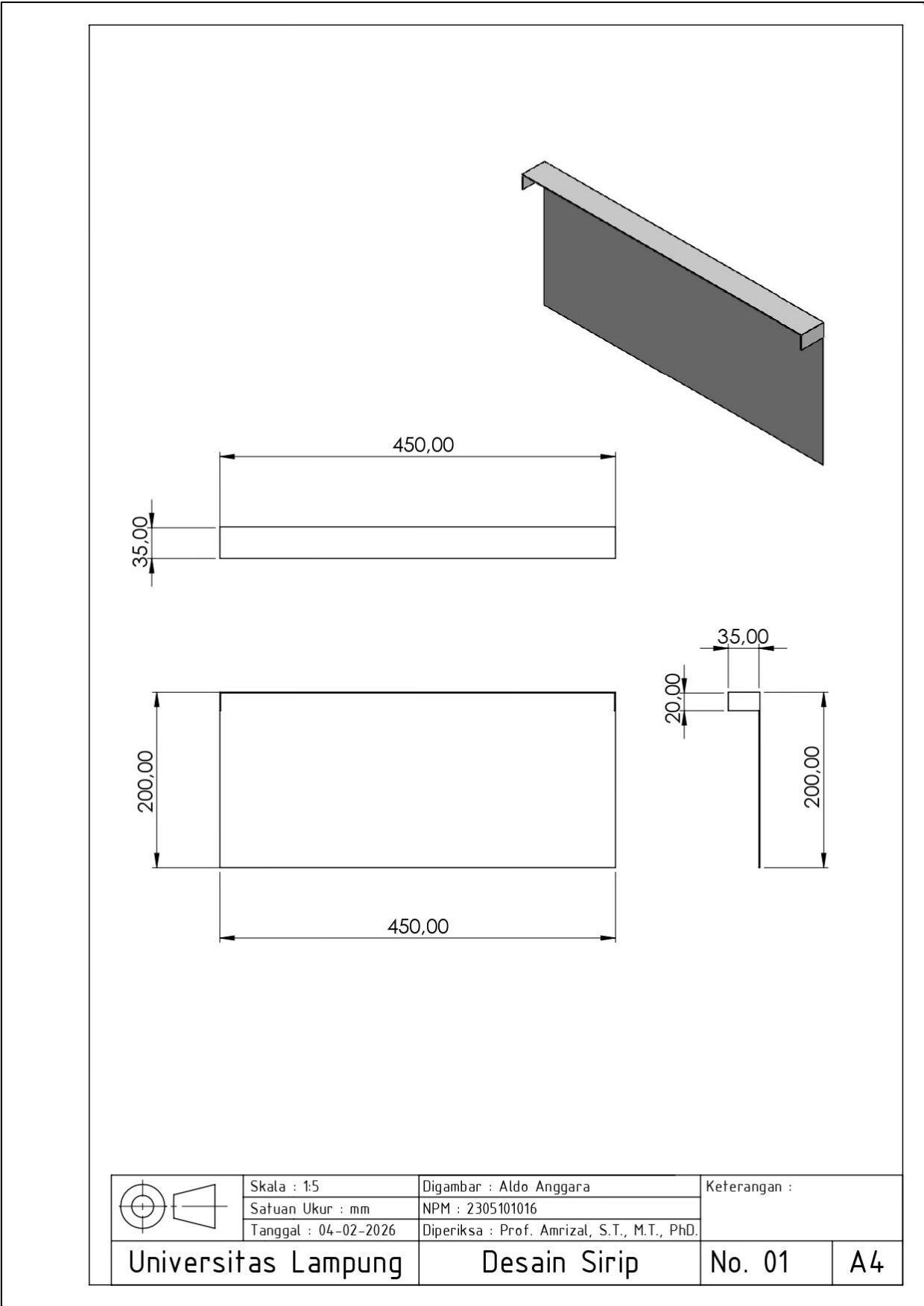
Pada tahap ini dilakukan perancangan visual sirip pendingin berkonfigurasi paralel menggunakan perangkat lunak SolidWorks dengan dimensi panjang 450 mm, tinggi 200 mm, ketebalan 1,00 mm. Selanjutnya dibuat lekukan pemasangan setinggi 20,00 mm untuk keperluan perakitan serta ditentukan jarak antar sirip 35 mm sesuai dengan spesifikasi desain.

3. Tahap Perancangan (Desain) Sistem PV/T

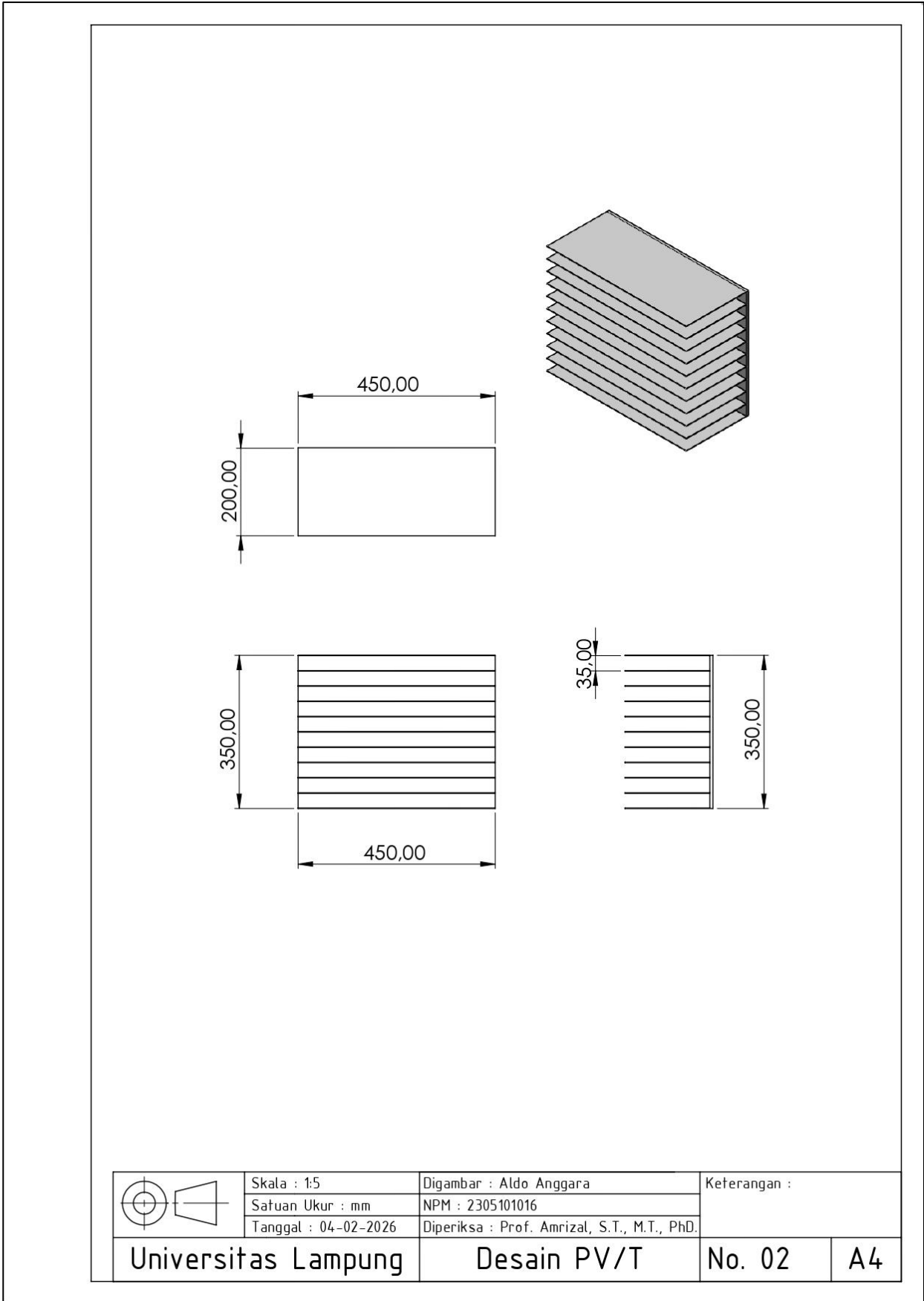
Perancangan sistem PV/T dilakukan menggunakan SolidWorks dengan ukuran modul 450 mm × 350 mm dan sirip pendingin paralel berjarak 35 mm di bagian bawah modul. Model 3D hasil perancangan digunakan sebagai acuan fabrikasi, analisis, dan pembuatan gambar kerja serta memastikan kemudahan perakitan dan kestabilan struktur.

4. Tahap Pembuatan Sirip

Tahap pembuatan sirip pendingin diawali dengan persiapan material dan peralatan sesuai spesifikasi desain. Material pelat dipotong menggunakan mesin gerinda, kemudian dilakukan proses pembentukan siku L sirip menggunakan alat bending manual dan pembuatan dudukan pemasangan. Selanjutnya dilakukan penyusunan dan penyambungan sirip pada pelat dasar sesuai konfigurasi paralel, dilanjutkan dengan finishing dan pemeriksaan akhir untuk memastikan kesiapan sistem pada tahap perakitan dan pengujian.



Gambar 3.19 Sketsa sirip



Gambar 3.20 Sketsa sistem PV/T

### 3.4 Pengujian dan Pengambilan Data

Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengujian sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T) di Laboratorium Termodinamika, yaitu:

#### A. Tahap Persiapan dan Instalasi Sistem Uji

1. Modul PV/T dipasang pada rangka pengujian dan sirip pendingin konfigurasi paralel dengan jarak antar sirip 35 mm dipastikan terpasang sejajar serta terikat kuat pada bagian bawah modul.
2. Media pendingin disiapkan dengan menuangkan air ke dalam kontainer box perendaman hingga mencapai level yang diperlukan sesuai variasi kedalaman perendaman (25% dan 50%). Kontainer box diposisikan tepat di bawah sirip pendingin untuk memastikan kontak termal antara sirip dan media pendingin dapat terjadi secara optimal selama pengujian.



Gambar 3.21 Proses persiapan air

3. Sensor temperatur *thermocouple* tipe-K ditempatkan pada titik ukur, yaitu permukaan modul PV, temperatur lingkungan, dan temperatur air pendingin. Sensor kemudian dihubungkan ke data logger untuk merekam data temperatur selama pengujian berlangsung.



Gambar 3.22 Pemasangan *thermocouple*

4. Pada sisi kelistrikan, modul PV/T dihubungkan ke rangkaian beban pengujian melalui *solar charge controller* untuk mengatur kestabilan tegangan dan arus keluaran serta mencegah kondisi *overcharge* selama proses eksperimen berlangsung.



Gambar 3.23 Pemasangan sistem kelistrikan

5. Selanjutnya, *digital watt meter* dipasang pada jalur keluaran modul dengan konfigurasi seri untuk pengukuran arus (A) dan paralel pada terminal keluaran untuk pengukuran tegangan (V). Parameter daya listrik (W) ditampilkan secara otomatis oleh alat berdasarkan hasil pengukuran arus dan tegangan, sehingga performa keluaran listrik sistem PV/T dapat dipantau secara kontinu dan *real time* selama pengujian.

## B. Tahap Pelaksanaan Pengujian Eksperimental

1. Selanjutnya, solar simulator diaktifkan sebagai sumber radiasi buatan dan diarahkan tegak lurus ke permukaan modul PV/T. Intensitas radiasi dijaga konstan pada selama pengujian untuk memperoleh kondisi pemanasan yang seragam dan terkontrol.



Gambar 3.24 Mengatur intensitas solar simulator

2. Sistem kemudian dioperasikan hingga mencapai kondisi tunak (*steady state*), yaitu saat temperatur permukaan modul PV relatif stabil terhadap waktu, sehingga data pengukuran dapat digunakan untuk mengetahui kinerja termal dan listrik sistem PV/T.



Gambar 3.25 Pemantauan temperatur pengujian

### C. Tahap Pengambilan dan Perekaman Data

1. Pengukuran temperatur modul PV, lingkungan, dan air pendingin direkam menggunakan *data logger* dengan *memory card* (SD card). Perekaman dilakukan otomatis sejak solar simulator diaktifkan dengan interval 5 detik untuk analisis kinerja termal sistem PV/T.



Gambar 3.26 Proses pengambilan data temperatur

2. Intensitas radiasi solar simulator diukur menggunakan *solar power meter* pada lima titik area pancaran, yaitu tengah, kiri, kanan, depan, dan belakang. Karena radiasi dijaga konstan selama pengujian, nilai intensitas yang digunakan merupakan hasil rata-rata dari kelima titik pengukuran tersebut.



Gambar 3.27 Pengukuran intensitas radiasi

3. Parameter keluaran listrik sistem PV/T berupa tegangan (V), arus (A), dan daya keluaran (W) diukur menggunakan *digital watt meter* pada rangkaian beban. Pengukuran dilakukan secara *real time* selama pengujian untuk mengetahui performa keluaran listrik modul PV/T pada setiap variasi kedalaman perendaman. Data tersebut digunakan sebagai dasar analisis kinerja listrik sistem.



Gambar 3.28 Pengukuran keluaran listrik

4. Seluruh data hasil pengujian direkam secara sistematis pada setiap variasi kedalaman perendaman, serta pada kondisi tanpa perendaman dan tanpa sirip sebagai pembanding. Data tersebut digunakan untuk membandingkan kinerja termal dan listrik sistem *photovoltaic/thermal* (PV/T).



Gambar 3.29 Kondisi saat pengujian

2. Merapikan tepi hasil pemotongan untuk menghilangkan burr serta mencegah ketidakaturan dimensi, sehingga permukaan sirip lebih halus dan presisi saat dipasang pada modul PV/T.



Gambar 4.5 Merapikan hasil dari pemotongan

2. Melakukan proses bending pada bagian bawah sirip setinggi  $\pm 20$  mm menggunakan alat bending manual dengan sudut tekukan mendekati  $90^\circ$ , sehingga terbentuk dudukan berbentuk siku (profil L). Dudukan ini berfungsi sebagai penopang utama sirip pendingin serta sebagai titik sambungan mekanis pada rangka modul PV/T, sehingga posisi sirip tetap stabil dan tidak mengalami pergeseran selama proses perakitan maupun pengujian berlangsung.



Gambar 4.6 Proses bending manual (profil L)

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dapat dirumuskan berdasarkan tujuan penelitian dan hasil pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Sirip pendingin konfigurasi paralel dengan jarak antar sirip 35 mm dibuat dari pelat aluminium dengan ketebalan 1 mm melalui proses pemotongan, pembengkokan (bending) profil L, serta penyambungan mekanis menggunakan paku rivet dan *thermal adhesive*. Sebanyak 11 sirip terpasang sejajar pada bagian bawah modul PV/T dan hasil inspeksi menunjukkan susunan yang rapi, sambungan yang kuat, serta struktur yang stabil selama pengujian.
2. Penggunaan metode pendinginan dengan perendaman air 25% dan 50% mampu menurunkan temperatur kerja modul PV pada intensitas radiasi rata-rata  $\pm 804,16 \text{ W/m}^2$ . Temperatur modul tanpa sirip mencapai sekitar  $86,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , sedangkan dengan sirip pada perendaman 25% temperatur turun menjadi sekitar  $58,75 \text{ }^\circ\text{C}$ , dan pada perendaman 50% turun menjadi sekitar  $54,00 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman perendaman, maka pelepasan panas dari modul PV semakin efektif.
2. Berdasarkan perbandingan dengan penelitian sejenis yang menggunakan jarak sirip 70 mm, konfigurasi jarak sirip 35 mm pada penelitian ini menunjukkan kinerja yang lebih baik. Pada perendaman 25% temperatur PV  $58,75 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan daya 5,84 W, sedangkan penelitian sebelumnya  $63,5 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan daya 5,47 W. Pada perendaman 50% temperatur PV  $54,00 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan daya 6,53 W, lebih baik dibanding penelitian sebelumnya  $60,15 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan daya 6,24 W.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan variasi jarak antar sirip yang lebih beragam (misalnya di bawah 35 mm) serta variasi geometri sirip (tinggi, ketebalan, dan bentuk profil) guna memperoleh konfigurasi yang paling optimal terhadap penurunan temperatur dan peningkatan daya keluaran sistem PV/T.
2. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian dengan variasi kedalaman perendaman yang lebih luas, seperti di atas 50%, untuk mengetahui batas efektif pendinginan serta pengaruhnya terhadap stabilitas temperatur dan kinerja listrik sistem PV/T.
3. Penelitian berikutnya dapat menambahkan perhitungan efisiensi termal dan efisiensi listrik sistem PV/T, termasuk analisis rugi-rugi termal dan resistansi termal total, agar kinerja sistem dapat dievaluasi secara lebih mendalam dan kuantitatif.
4. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan analisis atau perhitungan umur pakai modul PV dalam jangka panjang untuk mengetahui pengaruh sistem pendinginan terhadap degradasi kinerja modul.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiyanto, B., & Setiawan, H. (2021). Analisa Perbandingan Kinerja Panel Surya Vertikal Dengan Panel Surya Fleksibel Pada Jenis *Monocrystalline*. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 4(1), 77-86.
- Darmanto, S., Indartono, I., Pangi, P., Hartono, H., & Purwadi, D. (2020). PENINGKATAN KETRAMPILAN PEMOTONGAN PLAT ALUMUNIUM. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 1(3), 206-210.
- Fahrudin, A. R., & Firdaus, R. (2024). Buku Ajar Perpindahan Panas *Heat Sink* dan Permukaan Bersirip. Umsida Press, 1-68.
- Gultom, N. S., Sari, P. N. N., Saragih, A. D., Anjani, A. S., Farhani, A. D., & Putri, S. A. (2025). Transformasi teknologi dalam sel surya film tipis generasi kedua. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 5(1), 34-42.
- Hara, A., Gede, I. N., & Poeng, R. (2016). Pengaruh Pemotongan dengan dan Tanpa Cairan Pendingin terhadap Daya Potong pada Proses Turning. *Jurnal Poros Teknik Mesin UNSRAT*, 5(2).
- Harahap, P. (2020). Pengaruh temperatur permukaan panel surya terhadap daya yang dihasilkan dari berbagai jenis sel surya. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 73-80.
- Juliardi, R., & Gusniar, I. N. (2022). Analisis Pengaruh Jarak dan Diameter Lubang Rivet Terhadap Kekuatan Sambungan Tumpuk Beban Aksial. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(12), 319-326.

- Koesgi, D. P., & Wicaksono, D. (2021). Pengaruh Pemanasan Awal Terhadap Sifat Mekanik Sambungan *Spot Friction Stir Welding* Dalam Pemasangan Rivet Aluminium 2024. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(1), 140-153.
- Mayasari, F., Samman, F. A., Muslimin, Z., Waris, T., Dewiani, D., Salam, A. E. U., & Arief, A. B. (2022). Pengenalan panel surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan untuk pembelajaran di SMA Negeri 1 Takalar. *JURNAL TEPAT: Teknologi Terapan Untuk Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 147-159.
- Nugroho, C. B., & Hidayat, R. (2016). Studi Cacat Permukaan plat Aluminium pada Proses Pembengkokkan Sudut Mesin Bending. *Jurnal Integrasi*, 8(2), 88-92.
- Pratama, D. A., & Siregar, I. H. (2018). Uji kinerja panel surya tipe *Polycrystalline* 100 WP.
- Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 10-14.
- Purwanto, H., Amiwarti, A., Adiguna, A., Alzahri, S., Firdaus, M., Setiobudi, A., & Kurniawan, R. (2025). Sosialisasi Penggunaan Alat Bending Portabel Untuk Besi Begel. *Abditeknika Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 66-73.
- Pahlevi, R. (2015). Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas tenaga surya (*Doctoral dissertation*, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Rachmawati, V. (2015). Simulasi perpindahan panas pada lapisan tengah pelat menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), A13-A18.

- Rudiyanto, B., Rachmanita, R. E., & Budiprasojo, A. (2023). Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya. unisma press.
- Suyuti, M. A. (2020). RANCANG BANGUN PRESS TOOL UNTUK ALAT BENDING PELAT TIPE DIE-V AIR BENDING: RANCANG BANGUN *PRESS TOOL AIR BENDING V BRAKE*. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 39-44.
- Sugiyanto, S., Purwanto, A., & Vincentius, V. (2023). Pengaruh Jumlah Rivet Terhadap Kekuatan Mekanik Sambungan Komposit Serbuk Batu Bata Hebel. *AutoMech: Jurnal Teknik Mesin*, 3(02).
- Tiyas, P. K., & Widyartono, M. (2020). Pengaruh efek suhu terhadap kinerja panel surya. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1).