

PENGGUNAAN SISTEM PENDINGIN TEMPERATUR  
MENGUNAKAN *HEATSINK-FAN* SEBAGAI  
PENINGKATAN KINERJA PANEL SURYA



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ANDI AHLUN NAZAAR  
STEPANUS SIGGA ' K

44218003  
44218022

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2022

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Menggunakan *Heatsink-fan*** sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya oleh Andi Ahlun Nazaar NIM 44218003 dan Stepanus Sigga K NIM 44218022 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

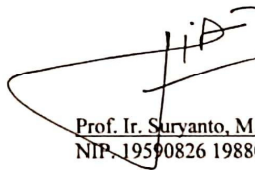
Makassar, 5 September 2022

Pembimbing I,



Ir. Andreas Pangkung, M.T.  
NIP.19620828 198903 1 003

Pembimbing II,



Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D  
NIP.19590826 198803 1 003

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi,








Ir. Andez Hilana, M.T  
NIP.19620319 199103 1 003

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari senin 12 September 2022, Tim Penguji Seminar Skripsi telah menerima hasil seminar skripsi oleh mahasiswa: Andi Ahlun Nazaar NIM 44218003 dan Stepanus Sigga K NIM 44218022 dengan judul **Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Menggunakan Heatsink-fan sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya.**

Makassar, 12 September 2022

Tim Penguji Seminar Skripsi:

- |   |               |   |
|---|---------------|---|
| 1. Dr. Ir. Firman, M.T.                           | Ketua         | (  )   |
| 2. Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T.,M.Eng.Sc.,Ph.D. | Sekretaris    | (  )  |
| 3. Prof. Muhammad Anshar, M.T., Ph.D.             | Anggota       | (  ) |
| 4. Ir. Andreas Pangkung, M.T.                     | Pembimbing I  | (  ) |
| 5. Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.               | Pembimbing II | (  ) |

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan pertolongan-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Menggunakan *Heatsink-fan* sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya" dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan dari berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara penulis yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada kami.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi
5. Bapak Ir. Andreas Pangkung, M.T. sebagai pembimbing satu dan bapak Prof. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D sebagai pembimbing dua yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D. selaku wali kelas.
7. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Khususnya Dosen pada Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi.
8. Seluruh tenaga kependidikan dan instruktur pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri ujung Pandang.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2018 yang telah membantu dan memberikan dukungannya;
10. Buat semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, September 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
SURAT PERNYATAAN.....	xiii
RINGKASAN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tenaga Surya.....	4
2.2 Panel Surya.....	5
2.3 Penelitian Terdahulu.....	6
2.4 Faktor –faktor Pengaruh Daya Keluaran Sel Surya.....	8
2.4.1 Temperatur sel surya.....	9

2.4.2 Radiasi Matahari .....	9
2.4.3 Kecepatan Angin.....	9
2.4.4 Keadaan atmosfer bumi .....	9
2.4.5 Orientasi sel surya .....	10
2.5 Cara Kerja Sel Surya.....	10
2.6 Karakteristik Sel Surya .....	11
2.6.1 Karakteristik kurva I-V terhadap daya.....	12
2.6.2 Karakteristik kurva I-V terhadap perubahan <i>irradiance</i> dan temperatur .....	14
2.7 Rumus teoritis kinerja panel surya.....	15
2.7.1 Faktor Pengisi (Fill Factor) .....	15
2.7.2 Daya Input.....	16
2.7.3 Daya keluaran.....	16
2.7.4 Efisiensi panel surya .....	17
2.8 Perpindahan Panas .....	17
2.8.1 Konduksi .....	18
2.8.2 Konveksi .....	18
2.8.3 Radiasi.....	18
2.9 Teknik Pendinginan Panel Surya.....	19
2.9.1 <i>Heatsink</i> .....	20
2.9.2 <i>Fan</i> (Kipas) .....	21
2.10 Mikrokontroler .....	22
2.10.1 Arduino Uno R3.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2 Teknik Penelitian .....	25
3.3 Alat dan Bahan.....	25
3.3.1 Alat.....	26
3.3.2 Bahan.....	26
3.4 Langkah-langkah Penelitian.....	27
3.5 Tahap perancangan .....	28

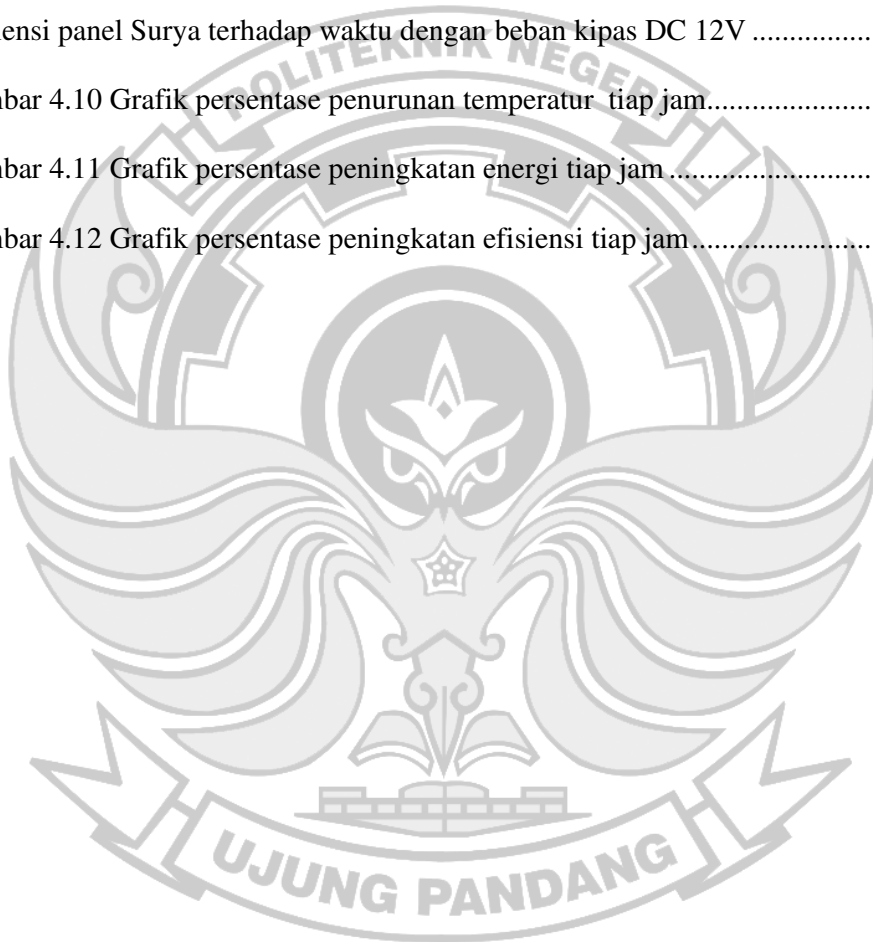
3.5.1 Perancangan Rangka Panel .....	28
3.5.2 Perancangan dan Kapasitas Sistem Pendinginan <i>Heatsink</i> dan <i>Fan</i> .....	28
3.5.3 Perancangan <i>Automatic</i> kontrol <i>Fan</i> .....	30
3.5.4 Skema Pengujian.....	31
3.6 Tahap Pembuatan dan Perakitan.....	32
3.7 Prosedur Pengujian .....	33
3.8 Pengumpulan Data.....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Konstruksi Sistem Pendingin <i>Heatsink-Fan</i> .....	35
4.2 Hasil Penelitian .....	37
4.3 Analisis Data Penelitian.....	41
4.3.1 Perhitungan Data Panel Surya.....	41
4.3.2 Perhitungan Efisiensi .....	41
4.3.3 Perhitungan Rugi-rugi Daya .....	43
4.3.4 Perhitungan Energi output (Wh).....	44
4.4 Grafik dan Pembahasan .....	48
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>66</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya <i>Monocrystalline</i> 100WP .....	5
Gambar 2.2 Skema kerja panel surya.....	11
Gambar 2.3 Kurva MPP Sel Surya .....	12
Gambar 2.4 Karakteristik Hubungan arus dan tegangan terhadap variasi Radiasi dan Temperatur .....	14
Gambar 2.5 (a) <i>Heatsink</i> , (b) <i>Fan</i> DC 12 V.....	22
Gambar 2.6 Arduino Uno R3 .....	23
Gambar 3.1 Diagram Flowchart.....	27
Gambar 3.2 Rancangan rangka panel surya.....	28
Gambar 3.3 Tampak depan panel surya.....	29
Gambar 3.4 Tampak depan pemakaian <i>thermal glue</i> pada <i>heatsink</i> .....	29
Gambar 3.5 Tampak belakang panel surya setelah pemasangan <i>heatsink-fan</i> .....	29
Gambar 3.6 Flowchart Kontrol Suhu.....	30
Gambar 3.7 Rangkain kontrol <i>Fan</i> .....	31
Gambar 3.8 Skema pengujian panel surya tanpa sistem pendingin.....	31
Gambar 3.9 Skema Pengujian panel surya dengan sistem pendingin.....	32
Gambar 4.1 Konstruksi Penelitian .....	35
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Temperatur Permukaan Panel Surya terhadap Waktu .....	48
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tegangan output Panel Surya terhadap Waktu ....	49
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Arus Panel Surya terhadap Waktu .....	50
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Daya Output terhadap Waktu.....	51

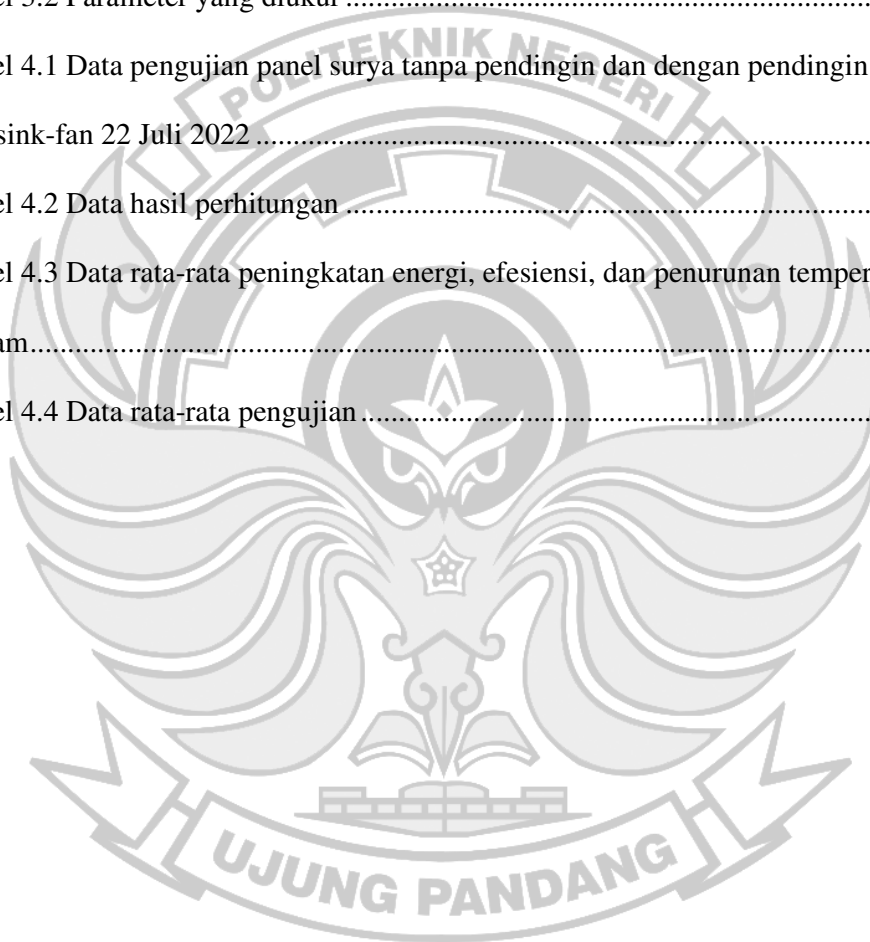


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Efisiensi Panel Surya terhadap Waktu .....	52
Gambar 4.7 Grafik Rugi-rugi Sistem Pendingin Terhadap Waktu .....	53
Gambar 4.8 Grafik (a) Temperatur permukaan, (b) Tegangan, (c) Daya output, (d) Efisiensi panel Surya terhadap waktu dengan beban Baterai 7Ah .....	56
Gambar 4.9 Grafik (a) Temperatur permukaan, (b) Tegangan, (c) Daya output, (d) Efisiensi panel Surya terhadap waktu dengan beban kipas DC 12V .....	58
Gambar 4.10 Grafik persentase penurunan temperatur tiap jam.....	60
Gambar 4.11 Grafik persentase peningkatan energi tiap jam .....	61
Gambar 4.12 Grafik persentase peningkatan efisiensi tiap jam.....	61



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya 100 WP.....	6
Tabel 2.2 Spesifikasi arduino.....	24
Tabel 3.1 Waktu pelaksanaan penelitian.....	25
Tabel 3.2 Parameter yang diukur .....	36
Tabel 4.1 Data pengujian panel surya tanpa pendingin dan dengan pendingin heatsink-fan 22 Juli 2022 .....	39
Tabel 4.2 Data hasil perhitungan .....	46
Tabel 4.3 Data rata-rata peningkatan energi, efisiensi, dan penurunan temperatur perjam.....	59
Tabel 4.4 Data rata-rata pengujian .....	62

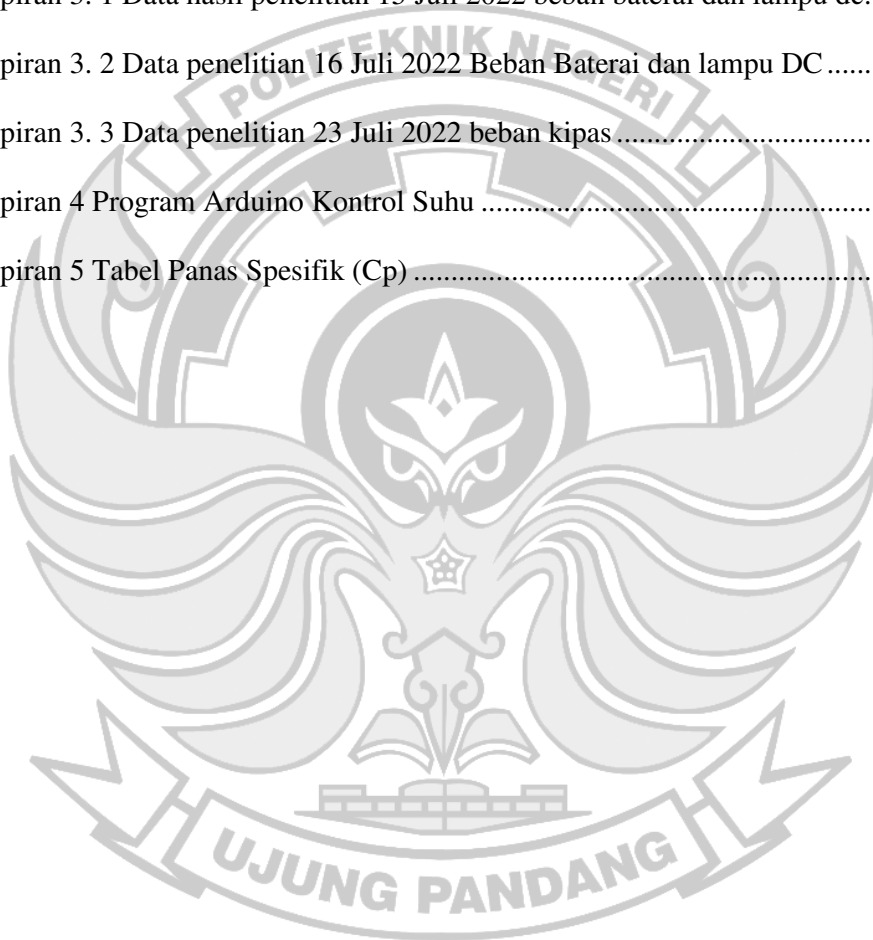


## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
G	Watt/m <sup>2</sup>	Intensitas Radiasi Matahari
A	m <sup>2</sup>	Luas Permukaan Panel
V	Volt	Tegangan
I	Ampere	Arus
P <sub>in</sub>	Watt	Daya Input
P <sub>out</sub>	Watt	Daya Output
P <sub>m</sub>	Watt	Daya Maksimum Panel
V <sub>m</sub>	Volt	Tegangan Maksimum Panel
I <sub>m</sub>	Ampere	Arus Maksimum Panel
V <sub>oc</sub>	Volt	Tegangan Rangkaian Terbuka
I <sub>sc</sub>	Ampere	Arus Rangkaian Terbuka
FF		Faktor Pengisi
η	%	Efisiensi

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Ukuran <i>Heatsink</i> .....	67
Lampiran 2 Foto kegiatan .....	68
Lampiran 3 Data Hasil Penelitian .....	71
Lampiran 3. 1 Data hasil penelitian 15 Juli 2022 beban baterai dan lampu dc.....	71
Lampiran 3. 2 Data penelitian 16 Juli 2022 Beban Baterai dan lampu DC .....	73
Lampiran 3. 3 Data penelitian 23 Juli 2022 beban kipas .....	75
Lampiran 4 Program Arduino Kontrol Suhu .....	77
Lampiran 5 Tabel Panas Spesifik (Cp) .....	78



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Andi Ahlun Nazaar  
NIM : 442 18 003  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Sengkang, 24 Maret 2000  
Alamat : BTP Blok AA No 5

Dengan ini menyatakan :

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Menggunakan *Heatsink-fan*  
sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya”

Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir/ Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 5 September 2022



Andi Ahlun Nazaar

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Stepanus Sigga K  
NIM : 442 18 022  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Bonga, 10 Oktober 1999  
Alamat : BTP Blok B No 176

Dengan ini menyatakan :

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Menggunakan *Heatsink-fan*  
sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya”

Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat mencontek menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 5 September 2022  
  
Stepanus Sigga K

## Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Menggunakan *Heatsink-fan* sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya

### RINGKASAN

Efisiensi panel surya menurun apabila terjadi kenaikan temperatur cell photo voltaic (PV) yang merupakan karakteristik dari cell PV yang dapat merugikan produksi energi listrik. Tingkat penurunan berkisar dari 0,25%-0,5% per derajat Celcius. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menurunkan temperatur pada panel surya pada saat tingkat radiasi yang tinggi yang menyebabkan temperatur cell naik, sehingga efisiensi panel surya berada pada kondisi yang optimal.

Metode teknik pendingin panel surya yang dirancang adalah dengan menggunakan *heatsink-fan*. Dimana *heatsink* sebagai pendingin pasif dikombinasikan dengan *fan* sebagai pendingin aktif. *Heatsink* dan *fan* tersebut diletakan pada bagian sisi belakang panel surya dan untuk membantu heat transfer dari permukaan atas panel PV ke sisi belakangnya, maka diisi thermal glue antara panel surya dengan *heatsink*. Untuk menghemat daya *fan* maka digunakan suatu mikrokontroler untuk mengontrol kipas berdasarkan *setting* sensor temperatur. Monitoring parameter temperatur, tegangan, dan arus menggunakan sistem digital.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan 2 panel PV monocrystalline daya peak 100Wp. Satu panel PV dengan sistem pendingin *heatsink-fan* dan yang satu panel PV tanpa sistem pendingin. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa dengan penambahan sistem pendingin *heatsink-fan* diperoleh penurunan temperatur permukaan rata-rata panel surya  $4,3^{\circ}\text{C}$ - $7,12^{\circ}\text{C}$  (10,57%-17,5%) dan peningkatan daya bersih rata-rata berkisar antara 1,07 W - 2,07 W (4,70%-16,17%) sedangkan peningkatan efisiensi rata-rata panel surya adalah 0,38%-1,24%. Untuk percobaan yang hanya menggunakan *heatsink* sebagai pendinginnya tanpa *fan* diperoleh penurunan temperatur rata-rata  $2,73^{\circ}\text{C}$  atau 5,24% dengan peningkatan daya sebesar 0,92 W atau 17,93% dan efisiensi sebesar 0,16%.

Kata kunci: Efisiensi, panel surya, heatsink, arduino uno, pendingin pasif, dan pendingin aktif.

# The Use of a Temperature Cooling System Using a *Heatsink-fan* as a Solar Panel Performance Improvement

## SUMMARY

The efficiency of solar panels decreases when there is an increase in the temperature of the photo voltaic (PV) cell which is a characteristic of PV cells that can harm the production of electrical energy. The rate of decline ranges from 0.25%-0.5% per degree Celsius. The purpose of this study is to reduce the temperature of the solar panel when the radiation level is high which causes the cell temperature to rise, so that the efficiency of the solar panel is in optimal condition.

The solar panel cooling technique method designed is to use a *heatsink-fan*. Where *heatsink* as a passive cooler is combined with a *fan* as an active cooler. *heatsink* and *fan* are placed on the back side of the solar panel and to help heat transfer from the top surface of the PV panel to the back side, thermal glue is filled between the solar panel and the *heatsink*. To save *fan*, a microcontroller is used to control the fan based on *setting* the temperature sensor. Monitoring temperature, voltage, and current parameters using a digital system.

The test is done by comparing 2 monocrystalline PV panels with a peak power of 100Wp. One PV panel with *heatsink-fan* and one PV panel without cooling system. The test results show that with the addition of a *heatsink-fan*, the average surface temperature decrease of the solar panels is 4.3°C-7.12°C (10.57%-17.5%) and the average net output power increase is around between 1,07 W - 2,07 W (4,70%-16,17%) while the increase in the average efficiency of solar panels is 0.38%-3.15%. For experiments that only use a *heatsink* as a cooler without a *fan*, the average temperature decrease is 2.73°C or 5.24% with an increase in power of 0.92 W or 17.93% and efficiency of 0.16%.

Keywords: Efficiency, solar panels, heatsink, arduino uno, passive cooling, and active cooling.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, sumber energi listrik terbarukan sangat dianjurkan. Salah satu sumber energi listrik terbarukan yang populer saat ini yaitu pembangkit listrik tenaga surya. Dengan memanfaatkan sel photovoltaic pada panel surya maka cahaya matahari akan dikonversi langsung menjadi energi listrik. Namun pada saat pengoperasian, panel surya hanya dapat mengkonversi sekitar 15% dari radiasi matahari dan sisanya akan terkoversi menjadi panas, yang mengakibatkan penurunan efisiensi panel surya ketika temperatur meningkat.

Panel surya memiliki efisiensi yang berbeda-beda tetapi yang paling tinggi efisiensinya adalah jenis *monocrystalline* sebesar 15%, namun efisiensi akan menurun juga. Penurunan efisiensi ini berdampak pada hasil daya listrik panel surya untuk itu perlu adanya upaya agar dapat mengoptimalkan daya listrik dari panel surya sehingga efisiensinya meningkat, faktor dari pengoperasian panel surya agar mendapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada lima kemungkinan, yaitu temperatur udara, radiasi matahari, kecepatan angin bertiup, keadaan atmosfer bumi, dan orientasi panel surya kearah matahari. Apabila melebihi suhu normal operasi panel surya dapat mengurangi kinerja panel surya dalam menghasilkan listrik, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya tidak hanya tergantung pada intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperatur pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan besar tegangan listrik tersebut. Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur selnya tetap 25<sup>0</sup>C. (Harafany dkk., 2021).

Salah satu cara untuk mengoptimalkan daya keluaran panel surya adalah dengan menambah pendinginan untuk menjaga temperatur sel surya agar tetap stabil dibawah temperature puncak  $45^{\circ}\text{C}$  untuk itu dibutuhkan suatu metode pendingin panel surya agar tidak mengalami penurunan tegangan akibat kenaikan temperatur sehingga panas dibagian belakang panel surya dapat diminimalisir.

Metode pendinginan yang dipilih yaitu dengan aliran udara menggunakan kipas (*fan*) yang dikontrol oleh program arduino berdasarkan kenaikan temperatur selain itu juga ada penambahan heatsink atau sirip-sirip yang terbuat dari aluminum yang ditempatkan pada bagian belakang panel surya sehingga dapat mengalirkan kalor. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan keluaran. Oleh karena itu sebagaimana yang telah dijelaskan pada latar belakang diatas maka penulis mengajukan proposal penelitian dengan judul “Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Menggunakan *Heatsink-fan* sebagai Peningkatan Kinerja Panel Surya” yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja dari panel surya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perumusan masalah pada tugas akhir ini yaitu bagaimana pengaruh pendinginan panel surya menggunakan *Heatsink-fan* terhadap penurunan temperatur dan efisiensi panel surya?

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini meliputi:

1. Panel surya yang digunakan merupakan tipe *monocrystalline* 100WP

2. Parameter pengujian yang diukur adalah intensitas radiasi matahari ( $\text{W/m}^2$ ), arus (A), tegangan (V), daya (W), dan temperature panel surya ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang penggunaan sistem pendinginan *Heatsink-fan* sebagai media pendingin pada panel surya
2. Menentukan kinerja panel surya yang menggunakan sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin
3. Menentukan pengaruh dari *Heatsink-fan* terhadap peningkatan efisiensi panel surya

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai pembelajaran dalam pengambilan data dan menganalisis panel surya
2. Sebagai bahan acuan bagi para peneliti pengguna panel surya dalam mengkonversi energi surya menjadi energi listrik.
3. Sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam upaya meningkatkan efisiensi panel surya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tenaga Surya

Secara umum tenaga surya dapat diartikan sebagai semua energi yang mencapai bumi dan berasal dari matahari. Energi matahari juga memberi manfaat langsung bagi kehidupan kita seperti energi panas matahari. Matahari mengirimkan energi dalam bentuk panas (heat) dan cahaya (light). Matahari sebagai pusat alam semesta yang menjadi pusat peredaran benda langit seperti meteorit, bintang dan juga planet termasuk bumi. Bumi ikut beredar mengelilingi matahari, Oleh karena itu, di setiap waktu di seluruh belahan bumi secara bergantian akan terkena sinar matahari. Salah satu kandungan yang terpancarkan di dalam sinar matahari yaitu energi foton. Energi foton merupakan salah satu energi alami yang tersedia di alam. Energi foton tidak dapat ditangkap oleh panca indra. Foton sendiri merupakan bagian dari partikel cahaya. Kuantitas energi foton sebanding dengan besar frekuensi yang akan diberikan dari gelombang cahaya tersebut. Jika energi foton rendah maka frekuensi yang akan diberikan juga rendah. Begitupun sebaliknya jika energi foton tinggi maka frekuensi yang diberikan juga akan semakin tinggi. Dengan hal tersebut, energi foton dapat memberikan radiasi dan menularkan energinya yang berupa energi positif kepada manusia dan benda lain. Energi foton dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Dapat dipastikan bahwa adanya cahaya bersamaan dengan adanya panas. Panas tersebut bisa menyebabkan kenaikan temperatur pada panel surya, selain itu kondisi lingkungan yang panas dapat menyebabkan kenaikan temperatur pada sel surya. Produksi dan penggunaan

energi matahari menjadi pilihan banyak pihak karena ekonomis, efisiensi sel surya yang meningkat, merupakan energi terbarukan, ramah lingkungan dan kemudahan perawatan.

## 2.2 Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel-sel surya yang merupakan salah satu alat yang dikembangkan oleh ilmuwan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Para ilmuwan mengembangkan panel surya berdasarkan prinsip konversi energi sel surya menjadi energi listrik melalui hukum kekekalan energi. Sel surya sendiri merupakan komponen yang terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silikon atau germanium yang memiliki daya absorpsi panas yang lebih baik dibandingkan dengan material lainnya. Sel surya ini membutuhkan cahaya yang berasal dari irradiasi matahari yang membawa energi foton untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Panel Surya *Monocrystalline* 100WP  
(Sumber : [www.tokopedia.com](http://www.tokopedia.com))

Panel surya mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan efek Photovoltaic

adalah suatu fenomena munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cair saat mendapat sinar matahari oleh karena itu, sel surya atau solar cell biasa juga disebut dengan Sel Photovoltaic (PV) . Hal yang mempengaruhi kinerja Photovoltaic yang berbahan silikon adalah temperatur dan intensitas matahari yang masuk ke sel surya. Berikut ini adalah tabel spesifikasi panel surya 100 WP yang digunakan.

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya 100 WP

Spesifikasi	Keterangan
Rated Maximum Power	100 W
Voltage at Pmax (Vmp)	18,24V
Current at Pmax (Imp)	5,48 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	21,8 V
Short-Circuit Voltage (Isc)	5,81 A
Weight	8 Kg
Dimensions	760mm x 680mm x 30mm
Standard Test Condition	25 <sup>0</sup> C

### 2.3 Penelitian Terdahulu

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menurunkan temperatur permukaan panel surya dalam usaha meningkatkan efisiensi listrik. Umumnya, penurunan temperatur dilakukan dengan menggunakan udara atau air sebagai media pendingin.

Arifin dkk. (2020) melakukan penelitian tentang The Effect of Heatsink Properties on Solar Panel. Dalam penelitian ini menyebutkan bahwa peningkatan jumlah sirip atau *heatsink* dapat memberikan kapasitas pendinginan yang lebih

baik dan meningkatkan kinerja panel surya. Jumlah sirip yang digunakan pada penelitian ini yaitu 5,10, dan 15. Dan panel yang menggunakan 15 sirip kipas atau *Heatsink-Fan* yang berbahan dasar tembaga menunjukkan hasil yang paling bagus dimana, berhasil menurunkan suhu panel surya sebesar  $10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan peningkatan efisiensi sebesar 2,74%.

Rahman dkk. (2020) melakukan penelitian tentang Analisis Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Keluaran. Dalam penelitian ini diperoleh nilai intensitas yang sama namun memiliki nilai arus dan temperatur yang berbeda-beda. Nilai daya keluaran pada panel surya dari pukul 12.00 hingga 16.00 menunjukkan penurunan rata-rata sebesar 2.8991 W setiap 15 menit atau setara 0,1932 W/menit. Dengan kesimpulan bahwa temperatur memiliki pengaruh besar terhadap kapasitas daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya dengan pengaruh rata-rata sebesar  $2,42\text{ W}^{\circ}\text{C}$ . semakin tinggi temperature panel surya maka kinerja panel surya akan menurun.

(Hariyanto, 2021). melakukan penelitian tentang Rancang bangun Reflektor Untuk Mengoptimalkan Daya Serap Matahari Pada Panel Surya Dengan Variasi Sudut Guna Menghasilkan Daya Optimal. Dan menyebutkan dalam penelitiannya bahwa penambahan radiasi oleh reflector menyebabkan penambahan temperatur pada panel surya, karena radiasi surya tidak hanya dapat berupa photon yang digunakan untuk masukan panel surya akan tetapi juga merupakan radiasi. Peningkatan temperatur sel surya tersebut mengakibatkan penurunan tegangan keluaran panel surya.

(Harahap, 2020) Melakukan penelitian tentang Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya, dalam penelitian ini untuk mendapatkan pengaruh temperatur, dan perbandingan 2 merk panel sel surya dilakukan pengukuran berdasarkan intensitas 1225 dan temperatur 41,1°C. Pengukuran yang dimaksud adalah melihat besarnya tegangan Merk A 20,3 Volt dan B 3,5 volt , arus Merk A 1,17 Amper dan B 1,68 Amper, daya output Merk A 19,21 Watt dan B 16,94 Watt, daya input Merk A 183 Watt dan B 226 Watt antara tiap panel sel surya. Pada pengukuran dua panel surya jenis polycrystalline merk A dan B, dapat disimpulkan bahwa dari kinerja pada panel sel surya dari merk A dan B yang lebih bagus adalah B dikarenakan nilai penyerapan pada B lebih besar dibandingkan dengan surya dikarenakan nilai Imp penyerapan yang berbeda tiap jenis dan tipe. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi peningkatan daya yang dihasilkan yaitu temperatur permukaan panel sel surya sangat berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan dari panel surya yang artinya semakin rendah suhu permukaan maka efisiensi PV akan semakin meningkat begitupun sebaliknya.

#### **2.4 Faktor –faktor Pengaruh Daya Keluaran Sel Surya**

Kerja maksimum dan daya keluaran sel surya tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur permukaan sel surya. Terdapat beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi daya keluaran sel surya. Faktor-faktor tersebut ada yang berpengaruh cukup besar dan ada juga yang kecil pengaruhnya. (Widodo dkk., 2015). Faktor yang mempengaruhi kerja maksimum sel surya adalah sebagai berikut:



#### 2.4.1 Temperatur sel surya

Sel surya dapat beroperasi secara maksimal apabila temperaturnya tetap normal (pada 25<sup>0</sup>C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V). Apabila temperatur Sel Surya meningkat setiap 10<sup>0</sup>C (dari 25<sup>0</sup>C) akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yang dapat dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10<sup>0</sup>C.

#### 2.4.2 Radiasi Matahari

Radiasi matahari di berbagai lokasi bervariasi dan sangat bergantung pada keadaan spectrum matahari ke bumi. Apabila jumlah energi matahari yang diterima oleh panel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah maka besar tegangan (V) dan arus listrik (I) yang dihasilkan oleh panel surya juga akan menurun.

#### 2.4.3 Kecepatan Angin

Kecepatan hembusan angin disekitar sel surya juga dapat mempengaruhi kinerja panel surya karena dapat membantu mendinginkan temperatur permukaan sel surya.

#### 2.4.4 Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi seperti mendung, berawan, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (*Rh*), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari panel surya.

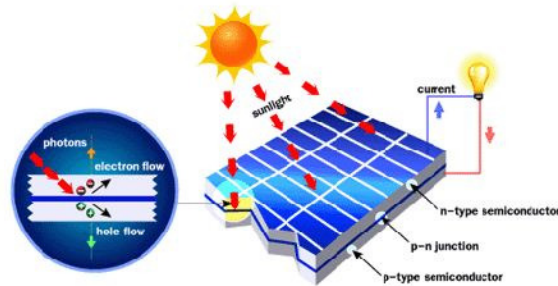
#### 2.4.5 Orientasi sel surya

Arah dari panel surya ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut kemiringan (*tilt angle*) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Untuk lokasi yang berada utara *latitude*, maka panel surya sebaiknya diorientasikan keselatan, walaupun orientasi ke arah timur-barat juga dapat menghasilkan sejumlah energi, akan tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari yang optimum.

### 2.5 Cara Kerja Sel Surya

Prinsip pengkonversian tenaga surya menjadi tenaga listrik pada panel surya terjadi melalui beberapa tahapan proses:

1. Absorpsi cahaya dalam semikonduktor
2. Membangkitkan serta memisahkan muatan positif dan negative bebas ke daerah-daerah lain dari sel surya, untuk membangkitkan tegangan dalam sel surya.
3. Memindahkan muatan-muatan yang terpisah tersebut keterminal-terminal listrik dalam bentuk aliran tenaga listrik.



Gambar 2.2 Skema kerja panel surya  
(Sumber : <https://suryautamaputra.co.id>)

Prinsip kerja sel surya dapat dijelaskan seperti berikut. Pada saat sel surya terkena cahaya, maka sel surya akan menerima energi dari foton ke electron yang bergerak bebas pada lapisan tipe-n, sehingga dengan adanya pemberian energi dari foton tersebut, maka electron bebas pada lapisan tipe-n memiliki energi tambahan untuk pindah ke lapisan tipe-p. sehingga pada lapisan tipe-n bersifat lebih positif dari lapisan tipe-p, karena ada beberapa jumlah proton yang lebih besar dari pada jumlah electron. Lalu electron bebas tersebut masuk ke dalam lapisan tipe-p, electron akan memasuki hole yang ada pada lapisan tipe-p sehingga lapisan tipe-p ini akan bersifat lebih negative, karena ada beberapa atom yang memiliki jumlah proton lebih sedikit dari jumlah elektronnya. Jika lapisan tipe-p dan tipe-n dihubungkan dengan beban, maka akan mengalir arus dari lapisan tipe-n menuju tipe-p.

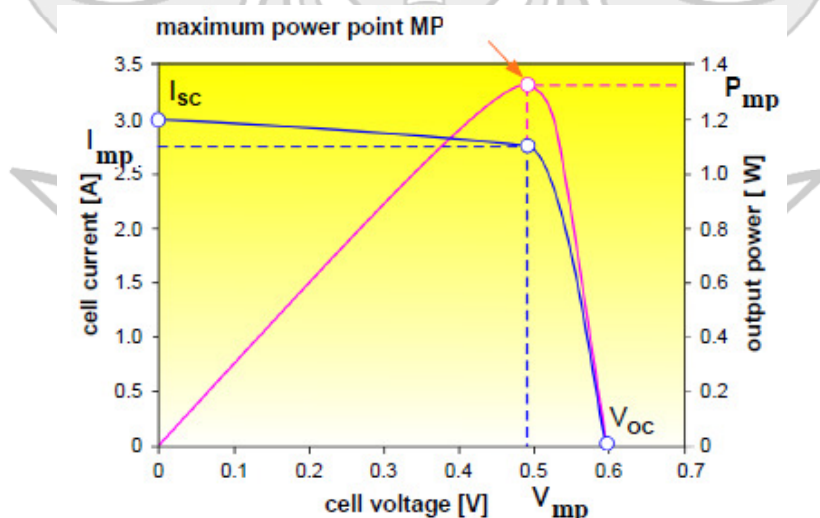
## 2.6 Karakteristik Sel Surya

Seperti diketahui, efisiensi sel surya PV menurun seiring dengan peningkatan suhu. Aturan umum penurunan ini pertama-tama ditentukan oleh penurunan tegangan sel rangkaian terbuka. Oleh karena itu kinerja sel PV yang efisien dalam

kondisi menuntut pendinginan. Selama pengoperasian sel PV dalam kinerja luar ruangan, sel PV mengalami suhu tinggi yang dicapai dalam kondisi penyinaran tinggi. Suhu sel PV bisa mencapai 60-80°C. Tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), faktor kurva (CF) dan efisiensi ( $\eta$ ) adalah parameter yang bergantung pada suhu dan kinerja sel surya dipengaruhi oleh suhu. Ketika suhu meningkat,  $V_{oc}$  akan berkurang dengan laju 0,1%/°C sedangkan  $I_{sc}$  sedikit meningkat dengan suhu (T). (Farhana, et al, 2012). Berikut ini akan dibahas tentang karakteristik sel surya

### 2.6.1 Karakteristik kurva I-V terhadap daya

Daya yang dihasilkan dari sel surya adalah tegangan (V) operasi dikalikan dengan arus (I) operasi. Tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan ketika sel surya memperoleh penyinaran merupakan karakteristik yang disajikan dalam kurva I-V pada Gambar 2.3.



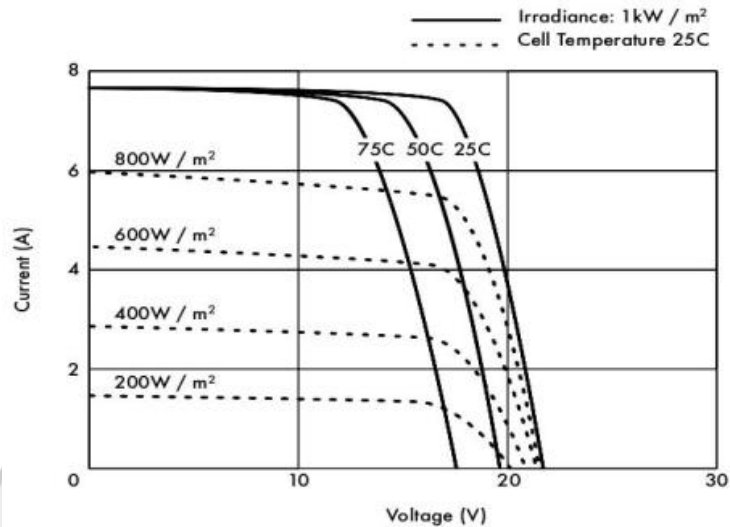
Gambar 2.3 Kurva MPP Sel Surya  
(sumber: belajarsolarblog.wordpress.com)

Kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (Maximum Power Point, MPP) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum. Tegangan di *Maximum Power Point* (VMPP) lebih kecil dari tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus saat MPP (IMPP) lebih rendah dari arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). Pada saat keluaran sel surya tidak terhubung dengan beban (*open circuit*) maka tidak ada arus yang mengalir dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, disebut tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ). Pada keadaan lain, saat keluaran sel surya dihubungkan singkatkan (*short circuit*) maka arus bernilai maksimum, yang disebut arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). Selain itu terdapat nilai daya maksimum ( $P_{mp}$ ) yang dapat dihasilkan pada saat tegangan maksimum ( $V_{mp}$ ) dan arus maksimum ( $I_{mp}$ ). Titik dimana nilai arus dan tegangan pada titik yang menghasilkan daya terbesar disebut dengan *Maximum Power Point* (MPP).

Tegangan Open Circuit ( $V_{oc}$ ) adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau bisa disebut juga arus sama dengan nol. Cara untuk mencapai open circuit ( $V_{oc}$ ) yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negative modul surya dengan voltmeter, sehingga akan terlihat nilai tegangan open circuit sel surya pada voltmeter.

Arus Short Circuit ( $I_{sc}$ ) adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh modul sel surya dengan cara menge-short-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul surya. Dan nilai  $I_{sc}$  akan terbaca pada amperemeter. Arus yang dihasilkan modul surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan.

## 2.6.2 Karakteristik kurva I-V terhadap perubahan *irradiance* dan temperature



Gambar 2.4 Karakteristik Hubungan arus dan tegangan terhadap variasi Radiasi dan Temperatur  
(Sumber: Ouaschnig: 2005)

Kurva pada gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan terhadap Pengujian modul photovoltaic biasanya dilakukan pada Standard Test Condition (STC) yaitu Air Mass (AM) 1,5 irradiance  $1000 W/m^2$  dan temperatur  $25^{\circ}C$ . Dalam kondisi nyata, nilai irradiance tidak mencapai nilai tersebut, hal tersebut biasa dipengaruhi oleh posisi lintang, posisi matahari dan kondisi cuaca. Nilai *irradiance* pada lokasi tertentu juga bervariasi dari bulan ke bulan. Perlu diketahui bahwa nilai irradiance berpengaruh pada temperatur sel surya. Makin tinggi nilai irradiance makin tinggi pula temperatur pada sel tersebut.

Berdasarkan kurva tersebut yang menggambarkan hubungan antara arus terhadap tegangan pada suatu nilai irradiance dan temperature tertentu. Dapat dilihat untuk pengaruh *irradiance* terhadap daya keluaran berbanding lurus. Pada saat irradiance tinggi, yaitu pada saat jumlah foton banyak, arus yang dihasilkan

juga besar. Demikian pula sebaliknya, sehingga arus yang dihasilkan berbanding lurus terhadap jumlah foton. Sedangkan untuk pengaruh temperatur terhadap sel surya setiap kenaikan temperatur dapat dilihat bahwa tegangan yang dihasilkan menurun pada saat arus tetap. Jadi dari kurva karakteristik diatas dapat diketahui bahwa daya keluaran PV sangat tergantung pada *irradiance* dan sangat berpengaruh pada tempertaur.

## 2.7 Rumus teoritis kinerja panel surya

Panel surya, sebagaimana umumnya sebuah mesin, memiliki kemampuan untuk menghasilkan suatu produk/output (dalam hal ini listrik) dari bahan masukan/input (cahaya sinar matahari) melalui proses yang terjadi di dalamnya (efek fotovoltaiik). Dikarenakan banyak faktor, tidak semua cahaya yang diserap oleh panel surya dapat dikonversi menjadi energi listrik. Keluaran dari panel surya menghasilkan tegangan DC.

### 2.7.1 Faktor Pengisi (Fill Factor)

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubung singkat. FF atau Fill Factor memiliki nilai yang berada pada kisaran 0,7 - 0,85. Perlu diketahui bahwa semakin besar nilai FF suatu panel surya maka kinerja panel surya tersebut semakin baik dan akan memiliki efisiensi yang semakin tinggi. (Uhsg dkk., 2016)

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

FF = Faktor pengisi

Vm = Tegangan maksimum panel (V)

Im = Arus maksimum panel (A)

Voc = Tegangan rangkaian terbuka (V)

Isc = Arus hubung singkat (A)

### 2.7.2 Daya Input

Daya input dari panel surya adalah intensitas cahaya matahari ( $W/m^2$ ) dan luas penampang panel surya ( $m^2$ ). Untuk menentukan daya input panel surya dapat digunakan permasamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = G \times A \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

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

G = Intensitas cahaya matahari ( $W/m^2$ )

A = luas penampang panel surya ( $m^2$ )

### 2.7.3 Daya keluaran

Daya keluaran atau output dari panel surya adalah perkalian tegangan dan arus. Untuk menentukan daya output dari panel sura digunakan rumus dari persamaan berikut:

$$P_{out} = V \times I \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:



$P_{out}$  = Daya yang keluar pada panel surya (W)

$V$  = Tegangan panel surya (V)

$I$  = Arus panel surya (A)

#### 2.7.4 Efisiensi panel surya

Efisiensi panel surya merupakan ukuran output daya listrik panel surya (W) dibandingkan dengan luas permukaannya. Umumnya semakin tinggi efisiensi sebuah panel surya maka semakin besar daya yang dikeluarkan dari panel surya tersebut. Akan tetapi efisiensi panel surya akan menurun apabila panel surya berada di atas 25°C. (Harafany dkk., 2021). Efisiensi panel surya dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

$\eta$  = Efisiensi panel surya

$P_{out}$  = Daya yang keluar pada panel surya (W)

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

### 2.8 Perpindahan Panas

Perpindahan panas (Heat Transfer) merupakan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Energi yang berpindah tersebut dinamakan dengan kalor. Perpindahan panas atau kalor umumnya dibedakan menjadi tiga yaitu perpindahan: konduksi, konveksi, radiasi (Kreith dkk., 1997). Dalam penelitian ini perpindahan panas yang terjadi yaitu

perpindahan panas secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas konduksi terjadi pada *heatsink*, sementara perpindahan panas konveksi terjadi pada udara yang melewati *heatsink*, dalam hal ini udara dari *fan* (kipas). Berikut ini merupakan jenis-jenis perpindahan panas:

#### 2.8.1 Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan kalor secara spontan tanpa disertai perpindahan partikel media karena adanya perbedaan temperatur yang mengalir dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah.

#### 2.8.2 Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah proses perpindahan kalor yang terjadi akibat adanya pergerakan molekul pada suatu zat, hal tersebut yang mengakibatkan perpindahan panas secara konveksi. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas.

#### 2.8.3 Radiasi

Radiasi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinar/radiasi gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan media perantara.

## 2.9 Teknik Pendinginan Panel Surya

Teknik pendinginan menjadi hal penting guna meningkatkan efisiensi panel surya dan memperpanjang umur dari panel surya tersebut. Sistem pendinginan untuk panel surya dibedakan menjadi 2 jenis teknik pendinginan yaitu aktif dan pasif. Prinsip yang membedakan dari kedua jenis tersebut adalah pada sistem aktif dibutuhkan sumber tenaga dari luar untuk menjalankan sistem pendinginan. (Marausna, 2021)

Salah satu cara meningkatkan efisiensi sel surya adalah dengan menurunkan atau mempertahankan temperatur kerja sel surya pada kondisi mendekati  $25^{\circ}\text{C}$ , yang dibagi menjadi beberapa cara yaitu:

- a. Pendinginan berdasarkan permukaan yang didinginkan, terbagi atas posisi depan (*front*) atau posisi belakang (*back*). Untuk posisi depan, dapat dilakukan dengan cara menyemprotkan air setiap waktu tertentu atau air mengalir di bagian permukaan secara terus menerus. Sementara untuk posisi belakang dapat dilakukan dengan cara menyemprotkan kipas bantu atau air dan udara.
- b. Berdasarkan media pendingin dapat dibagi atas media air atau udara.
- c. Berdasarkan sistem pengontrolannya terbagi atas pendinginan aktif dan pasif. Pendinginan pasif dapat terjadi dengan memanfaatkan kondisi alami suatu bahan seperti udara, air atau aluminium tanpa ada pengaturan otomatis dan tidak membutuhkan energi tambahan. Sementara untuk pendinginan aktif dilakukan dengan menambahkan energi lain untuk memaksa terjadinya pendinginan yang lebih cepat seperti menggunakan pompa, kipas angin dan pengontrol lainnya.

Beberapa teknik pendinginan pasif panel surya adalah sebagai berikut:

1. Mendinginkan bagian bawah panel menggunakan plat, sirip atau *heatsink* aluminium, seperti yang dilakukan pada penelitian Widodo dkk (2015).
2. Mendinginkan bagian bawah panel dengan mencelupkan bagian bawah panel ke dalam air, seperti yang dilakukan pada penelitian Almanda dkk (2020).

Beberapa cara pendinginan aktif pada sel surya adalah sebagai berikut:

1. Mengalirkan air tipis ke permukaan panel. Penyemprotan dilakukan dengan tambahan pompa dan sistem kontrol, seperti yang dilakukan pada penelitian Loegimin dkk (2020).
2. Mendinginkan bagian bawah panel dengan penambahan inlet dan outlet air. Air yang bersumber dari sebuah tangki akan terus mengalir dengan penambahan pompa dan kontrol. Cara ini membutuhkan air yang banyak atau tangki yang besar.

Adapun teknik pendinginan yang digunakan pada penelitian ini merupakan pendinginan yang menggunakan heatsink dan dikombinasikan dengan *fan*.

#### 2.9.1 *Heatsink*

*Heatsink* adalah komponen utama yang berfungsi untuk mengurangi temperatur pada panel surya, dalam penelitian heatsink yang digunakan terbuat dari material aluminium yang diharapkan dapat menyerap panas yang kemudian disalurkan dengan bantuan udara dari *fan*. (Fatoni dkk., 2019). Fungsi *heatsink* adalah membuat proses pendinginan pada panel surya dengan cara menyerap panas

dari panel. Secara teknik semakin luas permukaan pemindahan panas sebuah benda maka akan semakin cepat pendinginan benda tersebut. Karena heatsink tersebut dari aluminium (AL) maka disini terjadi proses perpindahan panas secara konduksi karena heatsink hanya memindahkan zat tanpa disertai tanpa memindahkan partikel-partikelnya.

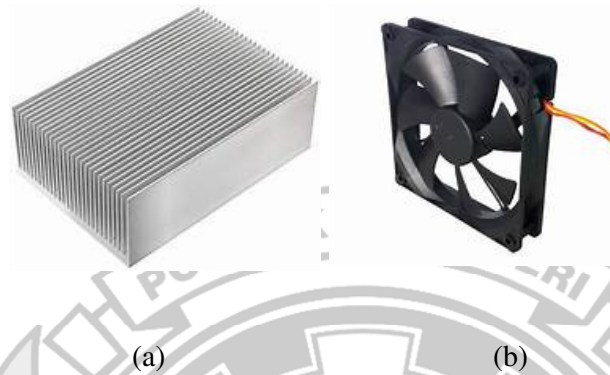
Dalam penelitian (Lupu, et al, 2018) menyebutkan bahwa teknologi pendinginan PV saluran kecil dengan *heatsink* memiliki pertukaran panas yang efektif adapun keuntungan dari teknologi pendinginan ini ialah mampu menghilangkan panas dalam jumlah besar diarea yang lebih kecil serta kebutuhan daya yang rendah. Dan kerugian dari sistem pendingin ini adalah masalah korosi dan juga distribusi suhu yang tidak merata serta ada batasan dalam penurunan tekanan.

#### 2.9.2 *Fan* (Kipas)

*Fan* (kipas) digunakan untuk menghasilkan angin, fungsi yang umum adalah untuk pendinginan udara, penyegaran udara, ventilasi (exhaust fan), pengering (umumnya memakai komponen penghasil panas). *Fan* disini adalah perpindahan kalor secara konveksi paksa. Kenapa perpindahan kalor konveksi paksa karena fan itu sendiri konveksi yang terjadi karena faktor luar dan perpindahan kalor dilakukan sengaja atau di paksa.

Setiap *fan* DC yang memiliki tegangan nominal 12 V dengan rating arus  $0,07 \pm 10\%$  A. Input daya yang diperlukan untuk menjalankannya adalah 0,84 W untuk setiap *fan*. Selanjutnya, setiap *fan* DC dapat menghilangkan panas yang

dihasilkan dengan karakteristik aliran udara maksimum 44,7 *cubic feet per minute* (CFM) masing-masing. (Amelia, et al., 2015)



Gambar 2.5 (a) *Heatsink*, (b) *Fan DC 12 V*  
(Sumber : [www.equipment.coolingfans.com](http://www.equipment.coolingfans.com))

Daya yang digunakan untuk menyalakan *fan* tersebut merupakan daya yang berasal dari panel surya. Untuk menghemat penggunaan daya pada *fan* maka digunakan mikrokontroler yang berfungsi sebagai kontrol untuk menghidupkan dan mematikan *fan* secara otomatis berdasarkan sensor temperatur pada panel surya.

## 2.10 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program di dalamnya terdiri dari CPU (Central Processing Unit), memori I/O dan unit pendukung seperti analog-to-Digital Converter (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya.

### 2.10.1 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan (development board) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Disebut sebagai papan

pengembangan karena board ini memang berfungsi sebagai arena prototyping sirkuit mikrokontroller. Dengan menggunakan papan pengembangan, akan lebih mudah merangkai rangkaian elektronika mikrokontroller dibanding jika memulai merakit ATmega328 dari awal di breadboard. Board arduino uno tampak depan dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Arduino Uno R3  
(Sumber: [www.arduino.com](http://www.arduino.com))

Arduino Uno memiliki 14 digital pin input / output (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP dan tombol reset. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau diberi power dengan adaptor AC-DC atau baterai, sudah dapat bermain-main dengan Arduino UNO tanpa khawatir akan melakukan sesuatu yang salah. Kemungkinan paling buruk hanyalah kerusakan pada chip ATmega328, yang dapat diganti sendiri dengan mudah dan dengan harga yang relatif murah.

Kata " Uno " berasal dari bahasa Italia yang berarti "satu", dan dipilih untuk menandai peluncuran Software Arduino (IDE) versi 1.0. Arduino. Sejak awal

peluncuran hingga sekarang, Uno telah berkembang menjadi versi Revisi 3 atau biasa ditulis REV 3 atau R3. Software Arduino IDE, yang bisa diinstall di Windows maupun Mac dan Linux, berfungsi sebagai software yang membantu anda memasukkan (upload) program ke chip ATmega328 dengan mudah. Spesifikasi arduino dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi arduino

Chip Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input Input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan Input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 Ma
Arus DC pin 3.3V	50 Ma
Memori Flash	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat diadakannya penelitian ini adalah di Halaman Lab Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang yang mulai pada bulan februari hingga september 2022.

Tabel 3.1 Waktu pelaksanaan penelitian

No	Nama Kegiatan	Bulan							
		Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September
1	Seminar Proposal	■							
2	Revisi Proposal Skripsi		■						
3	Pengadaan alat dan bahan		■						
4	Pengerjaan mekanik		■						
5	Pengerjaan elektronik			■					
6	Pengerjaan sistem dan simulasi Program			■	■				
7	Pengujian alat				■				
8	Pengambilan data				■	■			
9	Analisis data					■			
10	Pembuatan laporan akhir						■		
11	Asistensi laporan							■	
12	Seminar hasil								■

### 3.2 Teknik Penelitian

Teknik penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan membandingkan panel surya yang menggunakan sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin. Dimana tegangan, arus, dan suhu yang dijadikan sebagai data pembanding.

### 3.3 Alat dan Bahan

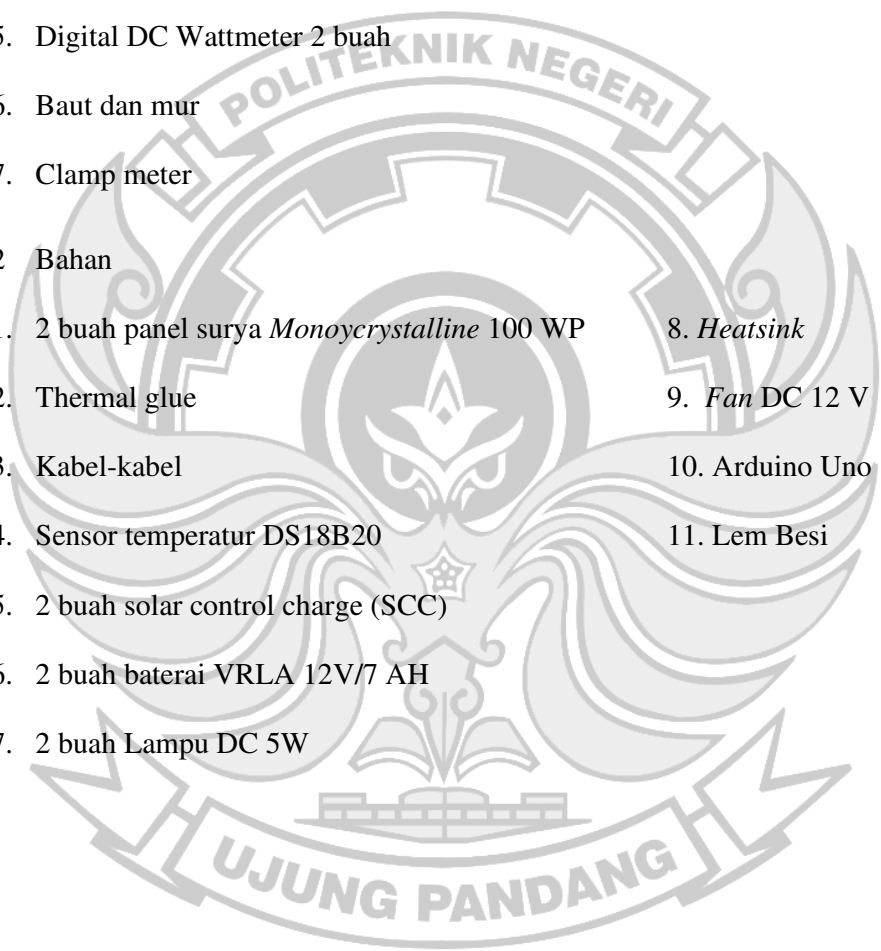
Seperangkat alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

### 3.3.1 Alat

1. Tang
2. Obeng
3. Solar Power Meter
4. Gerinda
5. Digital DC Wattmeter 2 buah
6. Baut dan mur
7. Clamp meter

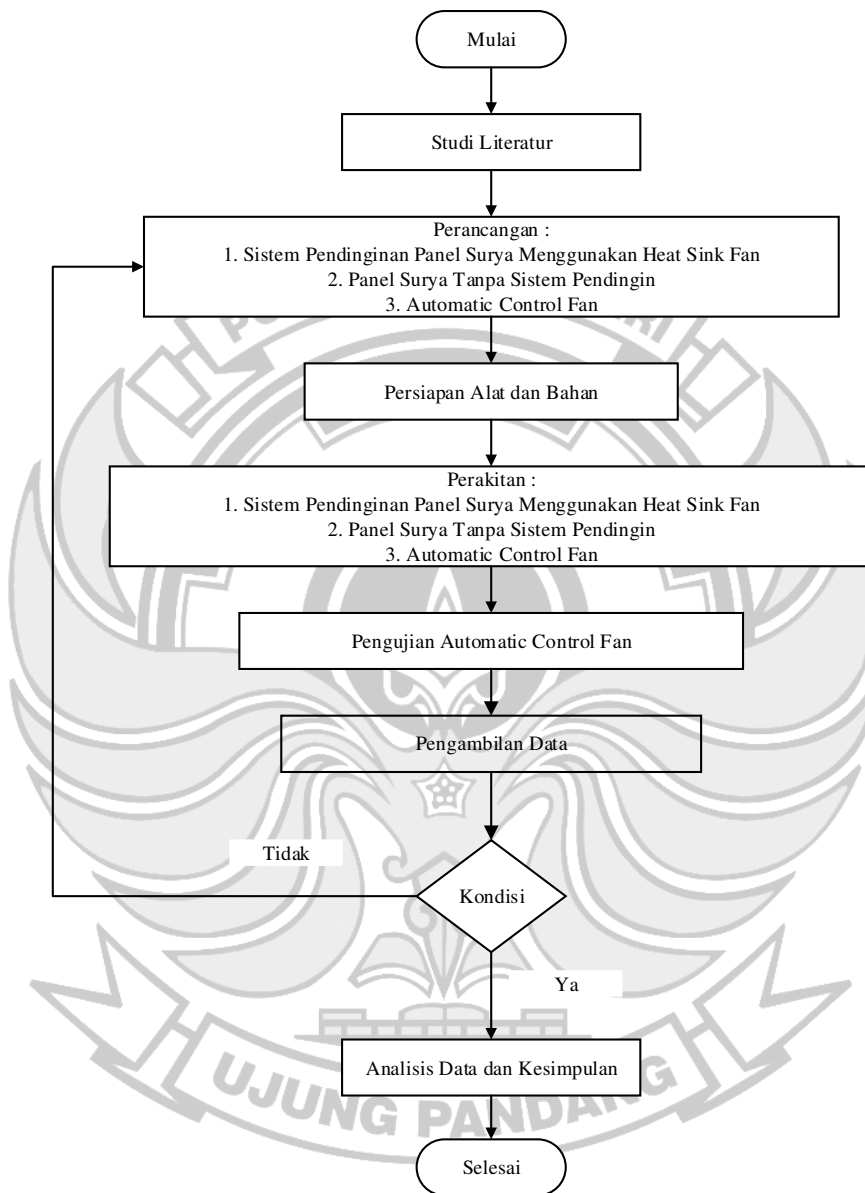
### 3.3.2 Bahan

1. 2 buah panel surya *Monocrystalline* 100 WP
2. Thermal glue
3. Kabel-kabel
4. Sensor temperatur DS18B20
5. 2 buah solar control charge (SCC)
6. 2 buah baterai VRLA 12V/7 AH
7. 2 buah Lampu DC 5W
8. *Heatsink*
9. *Fan* DC 12 V
10. Arduino Uno
11. Lem Besi



### 3.4 Langkah-langkah Penelitian

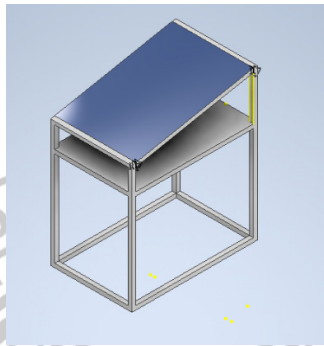
Langkah-langkah penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Flowchart  
(Sumber : Penulis)

### 3.5 Tahap perancangan

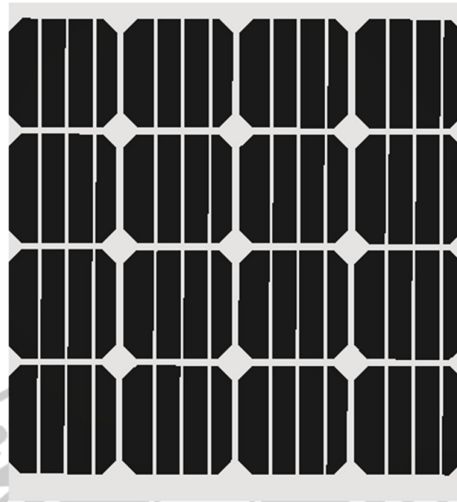
#### 3.5.1 Perancangan Rangka Panel



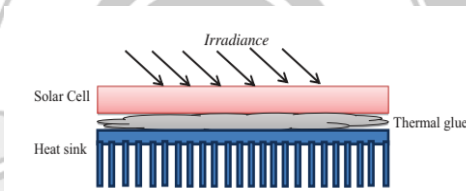
Gambar 3.2 Rancangan rangka panel surya  
(Sumber: penulis)

#### 3.5.2 Perancangan dan Kapasitas Sistem Pendinginan *Heatsink* dan *Fan*

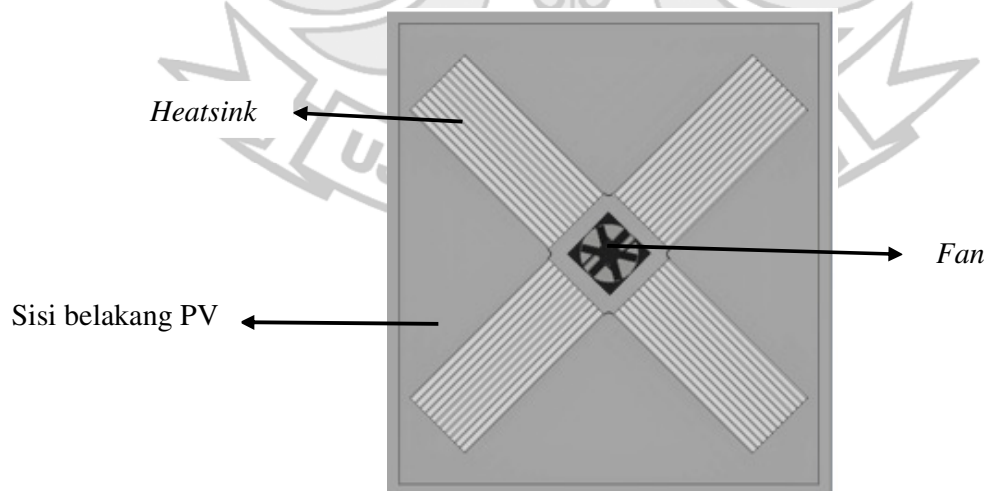
Alat yang akan dirancang dalam penelitian ini merupakan sistem pendingin yang menggunakan *Heatsink* dan dikombinasikan dengan *Fan* untuk menghasilkan udara yang akan dialirkan ke *heatsink*. *Heatsink* yang digunakan terdiri dari 4 buah dengan ketebalan 0,245cm ukuran 12cm x 30cm dengan jumlah 12 sirip dan massa 985gram dikombinasikan dengan *fan* dc 12 V. Pemasangan *heatsink* dengan posisi menyilang diharapkan dapat menyerap panas dalam jangkauan yang lebih besar dari permukaan panel surya yang ditutupi dengan *heatsink*, dan pemasangan *heatsink* seperti ini juga dapat mengefisienkan penggunaan *fan*, sehingga dengan model peletakan tersebut satu *fan* mampu untuk mengalirkan udara ke 4 *heatsink* sekaligus. Untuk konsep peletakan *heatsink-fan* dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.3 Tampak depan panel surya



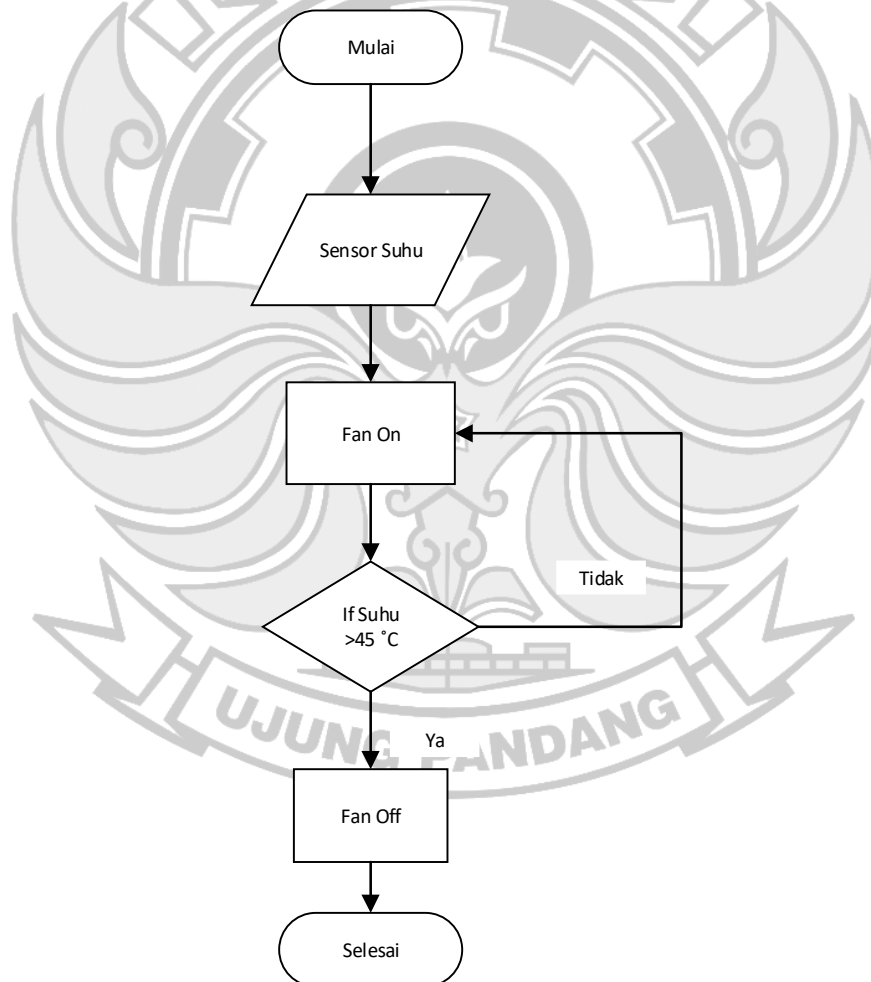
Gambar 3.4 Tampak depan pemakaian *thermal glue* pada *heatsink*



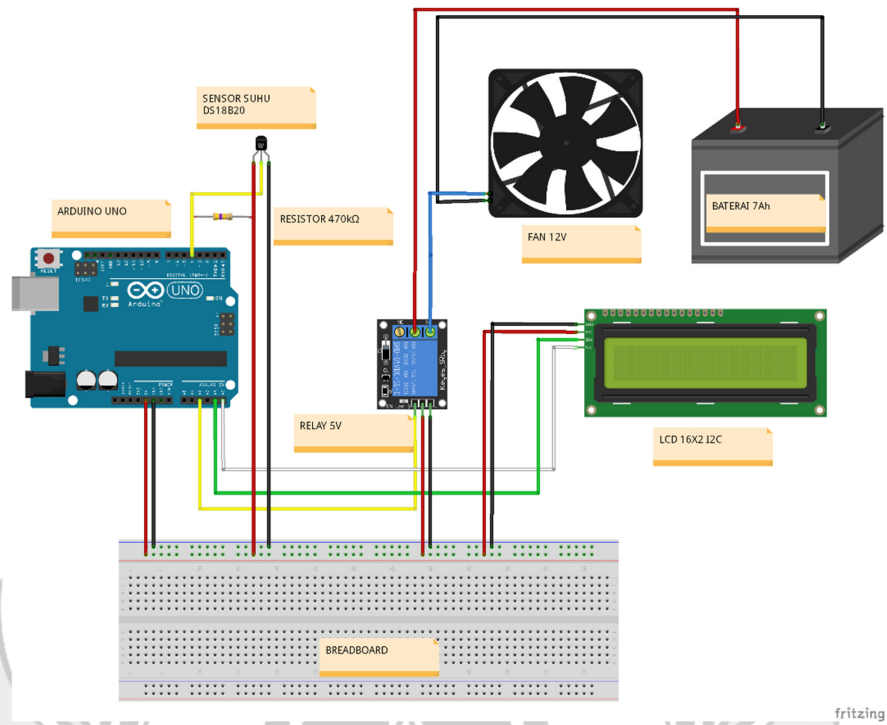
Gambar 3.5 Tampak belakang panel surya setelah pemasangan *heatsink-fan*

### 3.5.3 Perancangan *Automatic* kontrol *Fan*

Pada perancangan *Automatic* kontrol *fan* menggunakan mikrokontroler arduino uno dan untuk membuat program kontrol otomatisnya menggunakan software arduino, dimana dalam software ini akan dibuatkan program untuk mengontrol ON/OFF dari *fan* pada saat panel surya mencapai temperature tertentu berdasarkan dari sensor temperaturnya.

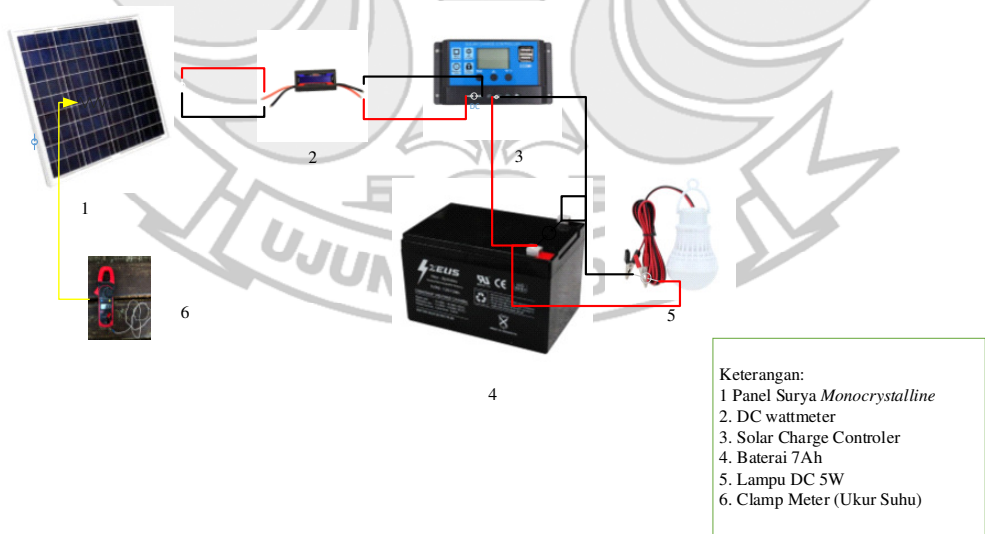


Gambar 3.6 Flowchart Kontrol Suhu

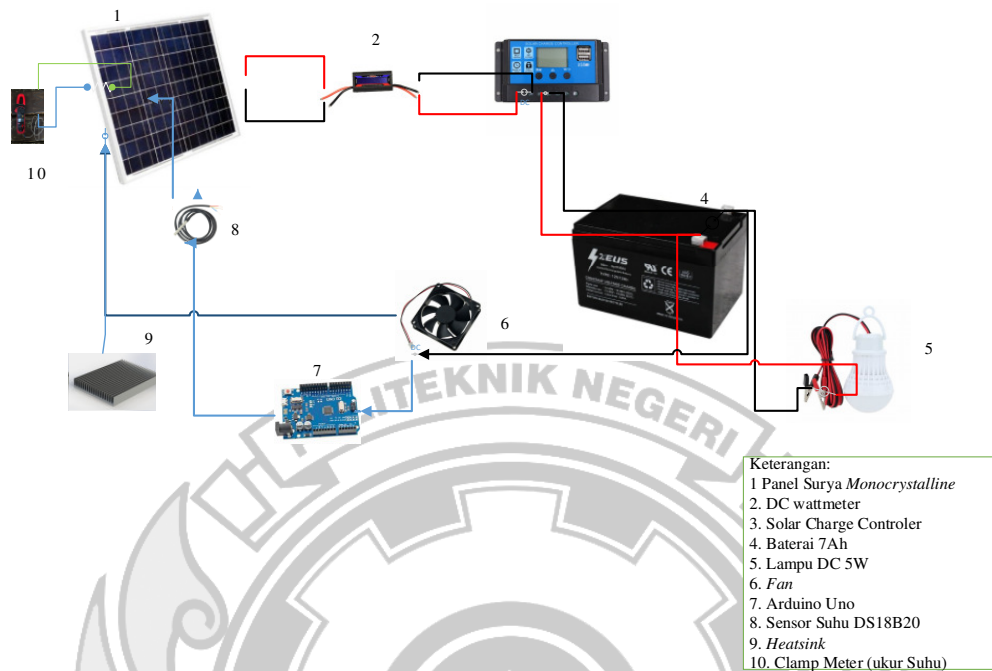


Gambar 3.7 Rangkain kontrol Fan

### 3.5.4 Skema Pengujian



Gambar 3.8 Skema pengujian panel surya tanpa sistem pendingin



Gambar 3.9 Skema Pengujian panel surya dengan sistem pendingin  
(Sumber : Penulis)

### 3.6 Tahap Pembuatan dan Perakitan

Setelah proses perancangan selesai, maka selanjutnya adalah proses pembuatan dan perakitan setiap komponen beserta alat kontrolnya. Langkah-langkah yang harus dikerjakan pada masing-masing rangkaian rancang bangun adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Uji coba sistem kontrol pada *fan* (simulasi)
3. Pembuatan rangka panel surya
4. Pemasangan *heatsink* dan *fan* pada panel surya yang menggunakan sistem pendingin.



5. Pemasangan panel surya yang sudah dilengkapi dengan sistem pendingin dan tanpa sistem pendingin pada rangka panel

### **3.7 Prosedur Pengujian**

Setelah menggabungkan komponen, selanjutnya akan dilakukan pengujian alat dan pengambilan data. Pengujian alat dan pengambilan data dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter yang dicari seperti temperatur panel surya, tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya serta radiasi matahari. Dalam tahap pengujian ini langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Memasang panel surya di lokasi pengujian.
- 2) Merangkai panel surya yang menggunakan sistem pendingin dan panel surya tanpa sistem pendingin.
- 3) Mencatat hasil pengukuran kedalam tabel pengamatan yang telah disiapkan, pencatatan ini dilakukan setiap satu jam sekali.
- 4) Membuat pembahasan dan kesimpulan tentang kesimpulan
- 5) Pengujian selesai

### **3.8 Pengumpulan Data**

Setelah dilakukan pengambilan data pada proses pengujian panel surya baik yang menggunakan sistem pendinginan dan tanpa sistem pendinginan maka terdapat beberapa parameter yang dicatat. Pencatatan ini dilakukan setiap 5 menit.

Tabel 3.2 Parameter yang diukur

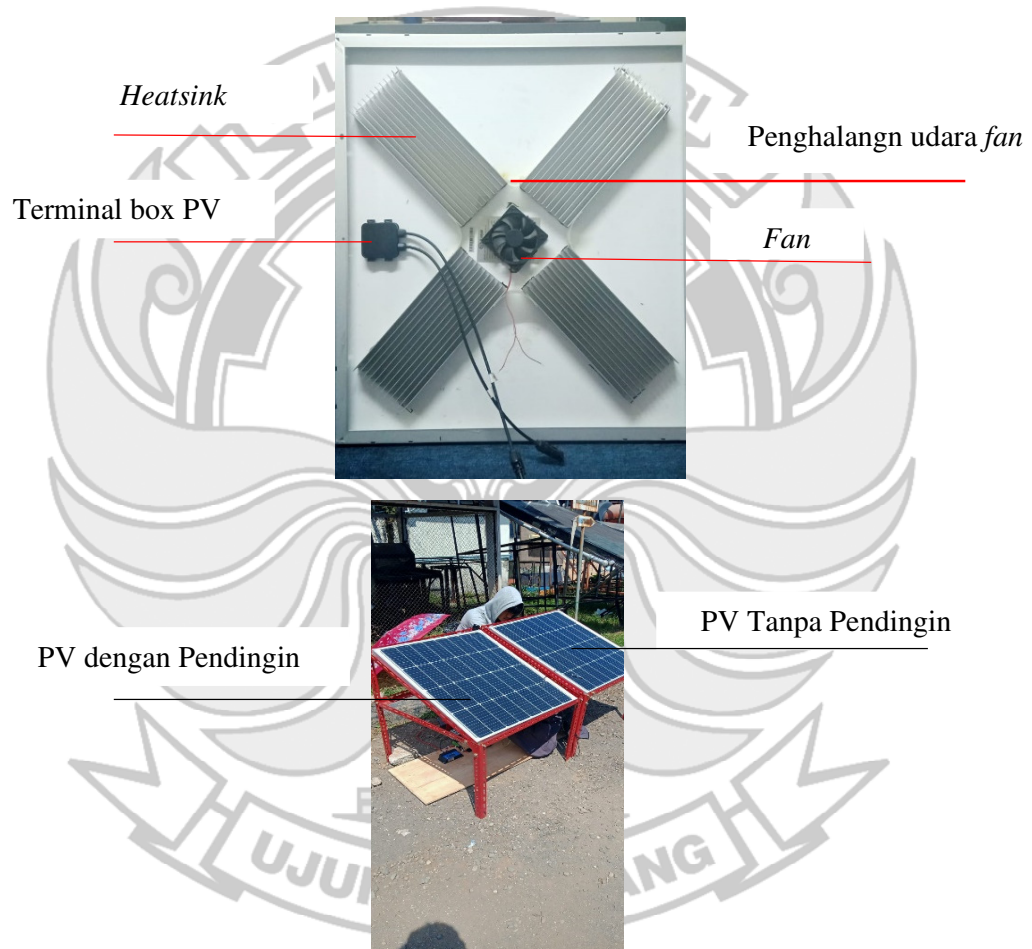
No	Parameter	Simbol	Satuan	Alat Ukur
1	Temperatur Panel	T	°C	Clamp meter dan sensor temperatur
2	Radiasi Matahari	G	W/m <sup>2</sup>	Solar Power Meter
3	Tegangan	V	V	Digital DC Wattmeter
4	Arus	I	A	Digital DC Wattmeter



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Konstruksi Sistem Pendingin *Heatsink-Fan*

Gambar dibawah ini menunjukkan konstruksi dari panel surya yang menggunakan pendingin *heatsink-fan*.



Gambar 4.1 Konstruksi Penelitian

Jumlah *heatsink* yang digunakan dalam penelitian ini, berdasarkan perhitungan dasar dibawah ini:

Selisih suhu permukaan atas dan bawah pv yang diuji sebelumnya adalah 4°C kondisi tanpa menggunakan pendingin sedangkan selisih suhu yang diinginkan adalah 8°C -12°C

Sehingga dengan mengetahui selisih suhu permukaan tersebut maka dapat dihitung jumlah kalor yang diserap *heatsink*, dengan menggunakan persamaan:

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

Dimana:

Q = Kalor (J)

m = massa *heatsink* (gram)

Cp= panas spesifik *Heatsink* (J/g.°C)

ΔT= Selisih suhu permukaan (°C)

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

$$Q = 985 \text{ g} \times \frac{0,902 \text{ J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \times 4^\circ\text{C}$$

$$Q = 3.553,88 \text{ J} = 1,87 ^\circ\text{C}$$

Konversi joule ke celcius menggunakan *website konvert joule to celcius unit* (Covert Units, 2022) dengan tampilan aplikasinya seperti dibawah ini.

Sehingga untuk mencapai selisih suhu 8 °C maka dibutuhkan sekitar 4 buah *heatsink*. Cp aluminuim dapat dilihat pada lampiran 5.

## 4.2 Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan selama 4 hari dengan waktu mulai pengambilan data dan durasi pengambilan data yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah cuaca yang tidak menentu. Dalam pengambilan data ini ada dua jenis beban yang digunakan, untuk hari pertama dan kedua menggunakan baterai 7 AH dan untuk hari ketiga dan keempat menggunakan kipas DC dengan daya 3 Watt. Dalam proses pengambilan data ini pencacatan dilakukan setiap 5 menit dan parameter yang dicatat meliputi temperatur panel surya baik permukaan maupun bagian bawah panel, tegangan keluaran, arus, daya keluaran dan intensitas cahaya matahari. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu panel adalah clamp meter digital sedangkan untuk arus dan tegangan menggunakan DC wattmeter digital dan untuk radiasi matahari menggunakan solar power meter.

Berikut ini merupakan salah satu tabel hasil pengukuran yang telah kami lakukan pada tanggal 22 Juli 2022. Untuk tabel hasil pengukuran lainnya dapat dilihat pada lampiran 3 data hasil penelitian.

Tabel 4. 1 Data pengujian panel surya tanpa pendingin dan dengan pendingin heatsink-fan 22 Juli 2022

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Tanpa Pendingin				Dengan Pendingin						
		V [V]	I [A]	T <sub>atas</sub> [°C]	T <sub>bawah</sub> [°C]	V [V]	I [A]	T <sub>atas</sub> [°C]	T <sub>bawah</sub> [°C]	V <sub>fan</sub> [V]	I <sub>fan</sub> [A]	P <sub>fan</sub> [W]
12.40	352	19.17	0.28	48.54	43	19.53	0.24	44.25	43	0	0	0
12.45	980	19.46	0.28	50.79	45	19.52	0.24	44.79	44	0	0	0
12.50	1092	19.09	0.28	56.25	49	19.48	0.5	49.27	43	13.04	0.23	3
12.55	947	18.91	0.28	57.71	47	19.34	0.5	47.27	49	17	0.22	3.74
13.00	692	18.92	0.28	56.17	46	19.21	0.5	51.58	42	13.64	0.22	3
13.05	928	19.18	0.28	55.29	42	19.65	0.51	50.79	46	14	0.23	3.22
13.10	1.019	18.94	0.28	56.67	43	19.53	0.51	48.35	46	12	0.23	2.76
13.15	566	18.66	0.28	54.50	41	19.12	0.23	42.77	43	0	0	0
13.20	450	18.75	0.28	50.92	41	18.93	0.22	44.21	40	0	0	0
13.25	565	18.88	0.28	52.25	43	19.22	0.22	44.31	43	0	0	0
13.30	915	19.43	0.28	50.83	46	19.77	0.52	48.21	45	13.04	0.23	3
13.35	1.005	19.08	0.28	54.58	43	19.53	0.48	48.33	47	15.00	0.2	3
13.40	1.015	18.94	0.27	56.58	47	19.37	0.46	49.50	46	15.21	0.23	3.73
13.45	959	18.86	0.27	58.29	47	19.33	0.46	49.79	47	13.04	0.23	3
13.50	918	18.85	0.28	58.67	44	19.3	0.45	51.54	47	13.64	0.22	3
13.55	896	18.82	0.26	59.08	45	19.3	0.43	51.06	48	15.00	0.2	3
14.00	880	18.89	0.27	57.33	42	19.28	0.44	50.04	51	14.29	0.21	3
14.05	878	18.94	0.28	55.96	54	19.3	0.41	49.04	52	15.00	0.2	3
14.10	860	18.89	0.26	57.08	54	19.3	0.41	48.77	45	15.00	0.2	3

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Tanpa Pendingin				Dengan Pendingin						
		V [V]	I [A]	T <sub>atas</sub> [°C]	T <sub>bawah</sub> [°C]	V [V]	I [A]	T <sub>atas</sub> [°C]	T <sub>bawah</sub> [°C]	V <sub>fan</sub> [V]	I <sub>fan</sub> [A]	P <sub>fan</sub> [W]
14.15	857	18.99	0.27	55.83	53	19.36	0.44	48.02	45	14.29	0.21	3
14.20	935	18.95	0.28	55.83	48	19.34	0.45	48.02	45	13.64	0.22	3
14.25	850	18.95	0.28	56.00	45	19.36	0.49	47.71	45	13.04	0.23	3
14.30	840	18.92	0.26	55.96	46	19.36	0.48	47.94	46	13.64	0.22	3
14.35	850	18.95	0.27	55.88	51	19.34	0.49	47.21	47	13.04	0.23	3
14.40	912	18.95	0.27	55.63	45	19.33	0.49	47.28	41	13.04	0.23	3
14.45	753	19.03	0.27	54.54	43	19.34	0.5	46.75	42	13.64	0.22	3
14.50	784	19.02	0.27	54.29	47	19.33	0.51	47.06	46	13.04	0.23	3
14.55	835	18.94	0.27	55.25	45	19.28	0.52	47.02	44	12.50	0.24	3
15.00	825	18.97	0.27	54.58	46	19.28	0.51	46.73	48	13.04	0.23	3
15.05	884	18.95	0.27	55.04	49	19.28	0.51	46.85	43	13.04	0.23	3
15.10	752	19	0.27	54.13	43	19.3	0.5	45.52	41	13.04	0.23	3
15.15	842	18.99	0.27	53.00	43	19.33	0.51	45.77	43	13.04	0.23	3
15.20	660	19.05	0.27	51.54	45	19.34	0.5	48.90	41	13.64	0.22	3
15.25	733	19.05	0.27	51.29	45	19.31	0.51	48.71	43	13.04	0.23	3
15.30	646	19.06	0.27	51.42	45	19.33	0.51	46.19	39	13.64	0.22	3
15.35	651	19.03	0.26	50.75	40	19.27	0.51	46.06	37	13.04	0.23	3
14.40	691	19.03	0.24	51.00	39	19.27	0.51	46.71	34	13.64	0.22	3
15.45	719	19.02	0.24	51.08	41	19.25	0.5	45.33	44	13.04	0.23	3
15.50	707	19	0.24	48.79	38	19.21	0.51	45.52	41	14.29	0.21	3

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Tanpa Pendingin				Dengan Pendingin						
		V [V]	I [A]	T <sub>atas</sub> [°C]	T <sub>bawah</sub> [°C]	V [V]	I [A]	T <sub>atas</sub> [°C]	T <sub>bawah</sub> [°C]	V <sub>fan</sub> [V]	I <sub>fan</sub> [A]	P <sub>fan</sub> [W]
15.55	491	19.06	0.24	48.94	39	19.21	0.52	46.31	37	14.29	0.21	3
16.00	638	19.05	0.25	48.87	38	19.19	0.51	45.05	39	15.00	0.2	3





### 4.3 Analisis Data Penelitian

#### 4.3.1 Perhitungan Data Panel Surya

##### 1. Perhitungan Luas Panel Surya

Berdasarkan spesifikasi panel, maka didapatkan luas panel:

$$A_{pv} = 0,76\text{m} \times 0,68\text{m} = 0,52 \text{ m}^2$$

##### 2. Perhitungan Fill Factor (FF)

Berdasarkan spesifikasi data panel surya dan menggunakan persamaan

(2.1) untuk menghitung fill factor (FF) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} FF &= \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \\ &= \frac{18,24 \times 5,48}{21,8 \times 5,81} \\ &= 0,79 \end{aligned}$$

#### 4.3.2 Perhitungan Efisiensi

Berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan dalam penelitian ini maka untuk menghitung efisiensi dari panel surya, Diambil contoh perhitungan pada tabel 4.1 menggunakan data pada pukul 12.45:

##### a) Panel surya tanpa pendingin

Diketahui:

$$G = 980 \text{ W/m}^2$$

$$V = 19,46 \text{ V}$$

$$I = 0,28 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan (2.2) untuk menghitung daya masukan ( $P_{in}$ ) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} P_{in} &= G \times A \\ &= 980 \times 0,52 \\ &= 506,46 \text{ W} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (2.3) untuk menghitung daya keluaran ( $P_{out}$ ) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= 19,46 \times 0,28 \\ &= 5,44 \text{ W} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (2.4) untuk menghitung efisiensi panel surya ( $\eta_{pv}$ ) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} \eta_{pv} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{5,44}{506,46} \times 100\% \\ &= 1,07\% \end{aligned}$$

b) Panel surya dengan pendingin *Heatsink-fan* (untuk luas panel dan fill factor sama dengan panel surya tanpa pendingin)

Diketahui:

$$V = 19,52 \text{ V}$$

$$I = 0,24 \text{ A}$$

Berdasarkan persamaan (2.3) untuk menghitung daya keluaran ( $P_{out}$ ) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= 19,52 \times 0,24 \\ &= 4,96 \text{ W} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (2.4) untuk menghitung efisiensi panel surya ( $\eta_{pv}$ ) maka didapatkan:

$$\begin{aligned} \eta_{pv} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{4,96}{506,46} \times 100\% \\ &= 0,97\% \end{aligned}$$

#### 4.3.3 Perhitungan Rugi-rugi Daya

Perhitungan rugi-rugi daya ini bertujuan untuk mengetahui jumlah daya bersih yang dihasilkan oleh panel surya setelah diberikan pendingin. Adapun parameter yang perlu dihitung yaitu daya kotor, daya bersih, dan daya dari pendingin itu sendiri ( $f_{an}$ ). Contoh perhitungan diambil data pada tabel 4.1 pukul 12.55 WITA

##### 4.3.3.1 Daya Kotor

Daya kotor adalah selisih antara daya output yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dengan daya output yang dihasilkan oleh panel surya tanpa pendingin.

$$\text{Daya kotor} = \text{Daya panel surya DP} - \text{Daya panel surya TP}$$

$$= 9,67W - 5,29W$$

$$= 4,38 W$$

#### 4.3.3.2 Daya Sistem Pendingin (*Fan*)

Daya sistem pendingin adalah daya yang digunakan pada saat alat pendingin tersebut beroperasi.

$$Daya fan = V fan \times I fan$$

$$= 13,64 \times 0,22$$

$$= 3 W$$

#### 4.3.3.3 Daya Bersih

Daya bersih yaitu selisih dari daya kotor (daya panel surya dengan pendingin dikurang dengan daya panel surya tanpa pendingin) dengan daya sistem pendingin.

$$Daya bersih = Daya kotor - Daya fan$$

$$= 4,38 - 3$$

$$= 1,38 W$$

Untuk hasil perhitungan berikutnya dapat dilihat pada tabel 4.2

#### 4.3.4 Perhitungan Energi output (Wh)

Untuk mengetahui jumlah energi output yang dihasilkan dalam satuan waktu (jam) maka dilakukan perhitungan sebagai berikut, Contoh perhitungan diambil data pada table 4.1 pukul 12:40 – 13:35 WITA:

a) Energi panel surya tanpa pendingin

$$\begin{aligned} \text{Energi (Wh)} &= \text{Daya output Rata Rata dalam satu jam} \times \text{Waktu} \\ &= 5,33 \text{ W} \times 1 \text{ h} \\ &= 5,33 \text{ Wh} \end{aligned}$$

b) Energi panel surya dengan pendingin

$$\begin{aligned} \text{Energi (Wh)} &= \text{Daya output Rata Rata dalam satu jam} \times \text{Waktu} \\ &= 7,57 \text{ W} \times 1 \text{ h} \\ &= 7,57 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Sehingga peningkatan energi yang dihasilkan oleh panel surya pada pukul 12.40-13.35 WITA adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan Energi (Wh)} &= \text{Energi panel DP} - \text{Energi panel TP} \\ &= 7,57 - 5,33 \\ &= 2,24 \text{ Wh} \end{aligned}$$

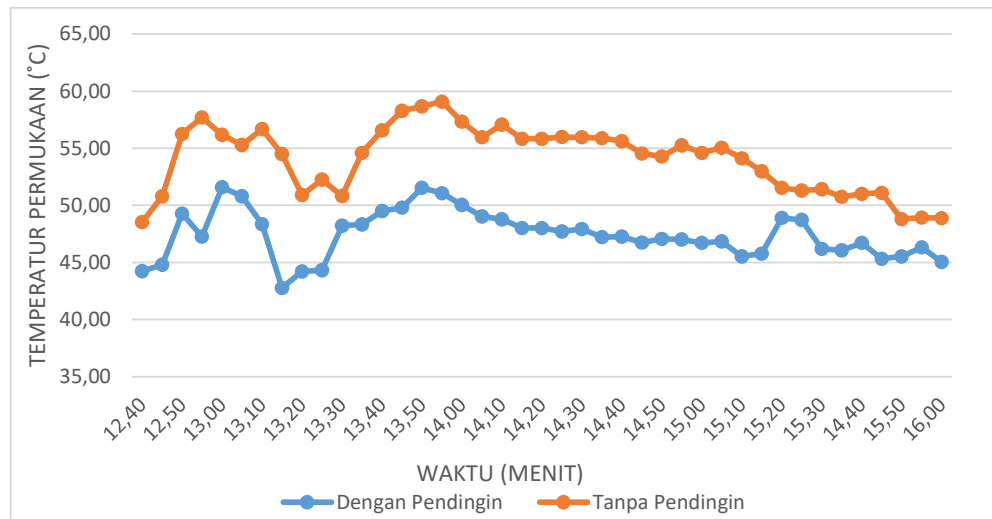
Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.2 Data hasil perhitungan

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Apv [m <sup>2</sup> ]	FF	Pin [W]	Tanpa Pendingin			Dengan Pendingin				Daya Kotor [W]	Daya Bersih [W]
					Suhu Permukaan PV [°C]	Pout [W]	Eff [%]	Suhu Permukaan PV [°C]	Pout [W]	Eff [%]	Pfan [W]		
12.40	352	0.52	0.79	181.91	48.54	5.37	2.95	44.25	4.69	2.58	0	-0.68	-0.68
12.45	980	0.52	0.79	506.46	50.79	5.45	1.08	44.79	4.68	0.92	0	-0.77	-0.77
12.50	1092	0.52	0.79	564.35	56.25	5.35	0.95	49.27	9.74	1.73	3	4.39	1.39
12.55	947	0.52	0.79	489.41	57.71	5.29	1.08	47.27	9.67	1.98	3	4.38	1.38
13.00	692	0.52	0.79	357.63	56.17	5.3	1.48	51.58	9.61	2.69	3	4.31	1.31
13.05	928	0.52	0.79	479.59	55.29	5.37	1.12	50.79	10.02	2.09	3	4.65	1.65
13.10	1019	0.52	0.79	526.62	56.67	5.3	1.01	48.35	9.96	1.89	3	4.66	1.66
13.15	566	0.52	0.79	292.51	54.50	5.22	1.78	42.77	4.4	1.50	0	-0.82	-0.82
13.20	450	0.52	0.79	232.56	50.92	5.25	2.26	44.21	4.16	1.79	0	-1.09	-1.09
13.25	565	0.52	0.79	291.99	52.25	5.29	1.81	44.31	4.23	1.45	0	-1.06	-1.06
13.30	915	0.52	0.79	472.87	50.83	5.44	1.15	48.21	10.28	2.17	3	4.84	1.84
13.35	1005	0.52	0.79	519.38	54.58	5.34	1.03	48.33	9.37	1.80	3	4.03	1.03
13.40	1015	0.52	0.79	524.55	56.58	5.11	0.97	49.50	8.91	1.70	3	3.80	0.80
13.45	959	0.52	0.79	495.61	58.29	5.09	1.03	49.79	8.89	1.79	3	3.80	0.80
13.50	918	0.52	0.79	474.42	58.67	5.28	1.11	51.54	8.69	1.83	3	3.41	0.41
13.55	896	0.52	0.79	463.05	59.08	4.89	1.06	51.06	8.3	1.79	3	3.41	0.41
14.00	880	0.52	0.79	454.78	57.33	5.1	1.12	50.04	8.48	1.86	3	3.38	0.38
14.05	878	0.52	0.79	453.75	55.96	5.3	1.17	49.04	7.91	1.74	3	2.61	-0.39
14.10	860	0.52	0.79	444.45	57.08	4.91	1.10	48.77	7.91	1.78	3	3.00	0.00
14.15	857	0.52	0.79	442.90	55.83	5.13	1.16	48.02	8.52	1.92	3	3.39	0.39
14.20	935	0.52	0.79	483.21	55.83	5.31	1.10	48.02	8.7	1.80	3	3.39	0.39

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Apv [m <sup>2</sup> ]	FF	Pin [W]	Tanpa Pendingin			Dengan Pendingin				Daya Kotor [W]	Daya Bersih [W]
					Suhu Permukaan PV [°C]	Pout [W]	Eff [%]	Suhu Permukaan PV [°C]	Pout [W]	Eff [%]	Pfan [W]		
14.25	850	0.52	0.79	439.28	56.00	5.31	1.21	47.71	9.49	2.16	3	4.18	1.18
14.30	840	0.52	0.79	434.11	55.96	4.92	1.13	47.94	9.29	2.14	3	4.37	1.37
14.35	850	0.52	0.79	439.28	55.88	5.12	1.17	47.21	9.48	2.16	3	4.36	1.36
14.40	912	0.52	0.79	471.32	55.63	5.12	1.09	47.28	9.47	2.01	3	4.35	1.35
14.45	753	0.52	0.79	389.15	54.54	5.14	1.32	46.75	9.67	2.48	3	4.53	1.53
14.50	784	0.52	0.79	405.17	54.29	5.14	1.27	47.06	9.86	2.43	3	4.72	1.72
14.55	835	0.52	0.79	431.53	55.25	5.11	1.18	47.02	10.03	2.32	3	4.92	1.92
15.00	825	0.52	0.79	426.36	54.58	5.12	1.20	46.73	9.83	2.31	3	4.71	1.71
15.05	884	0.52	0.79	456.85	55.04	5.12	1.12	46.85	9.83	2.15	3	4.71	1.71
15.10	752	0.52	0.79	388.63	54.13	5.13	1.32	45.52	9.65	2.48	3	4.52	1.52
15.15	842	0.52	0.79	435.15	53.00	5.13	1.18	45.77	9.86	2.27	3	4.73	1.73
15.20	660	0.52	0.79	341.09	51.54	5.14	1.51	48.90	9.67	2.84	3	4.53	1.53
15.25	733	0.52	0.79	378.81	51.29	5.14	1.36	48.71	9.85	2.60	3	4.71	1.71
15.30	646	0.52	0.79	333.85	51.42	5.15	1.54	46.19	9.86	2.95	3	4.71	1.71
15.35	651	0.52	0.79	336.44	50.75	4.95	1.47	46.06	9.83	2.92	3	4.88	1.88
14.40	691	0.52	0.79	357.11	51.00	4.57	1.28	46.71	9.83	2.75	3	5.26	2.26
15.45	719	0.52	0.79	371.58	51.08	4.56	1.23	45.33	9.63	2.59	3	5.07	2.07
15.50	707	0.52	0.79	365.38	48.79	4.56	1.25	45.52	9.8	2.68	3	5.24	2.24
15.55	491	0.52	0.79	253.75	48.94	4.57	1.80	46.31	9.99	3.94	3	5.42	2.42
16.00	638	0.52	0.79	329.72	48.87	4.76	1.44	45.05	9.79	2.97	3	5.03	2.03
Rata-rata	799.32	0.52	0.79	413.09	54.08	5.12	1.31	47.43	8.83	2.14	2.63	3.71	1.07

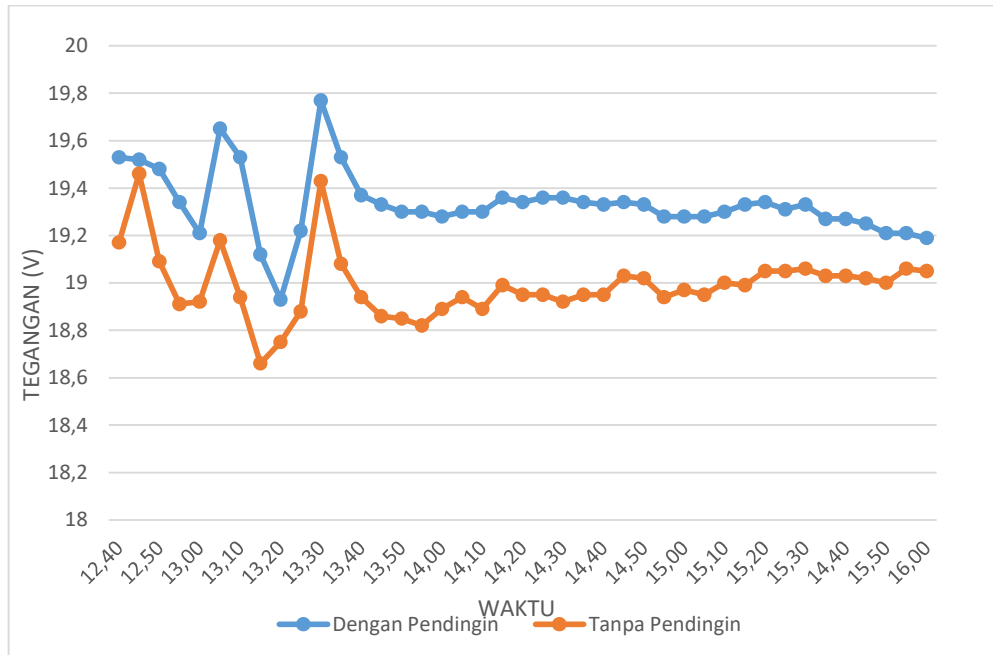
#### 4.4 Grafik dan Pembahasan



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Temperatur Permukaan Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.2 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan temperatur permukaan panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin dengan waktu. Temperatur rata-rata dari panel surya yang menggunakan pendingin sebesar  $47,4^{\circ}\text{C}$  sedangkan tanpa pendingin temperatur rata-rata sebesar  $54,1^{\circ}\text{C}$  jadi penurunan temperatur rata-rata jika dipersentasekan adalah sebesar 14,13%. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai temperatur pada permukaan panel surya yang menggunakan pendingin lebih kecil dibandingkan dengan tanpa pendingin. Adapun nilai temperatur yang didapatkan fluktuatif disebabkan karena pendingin yang diletakan dibagian bawah panel surya tidak menutupi seluruh permukaan bawah panel dan juga aliran angin dari *fan* tidak mampu menjangkau seluruh sirip-sirip dari *heatsink*.

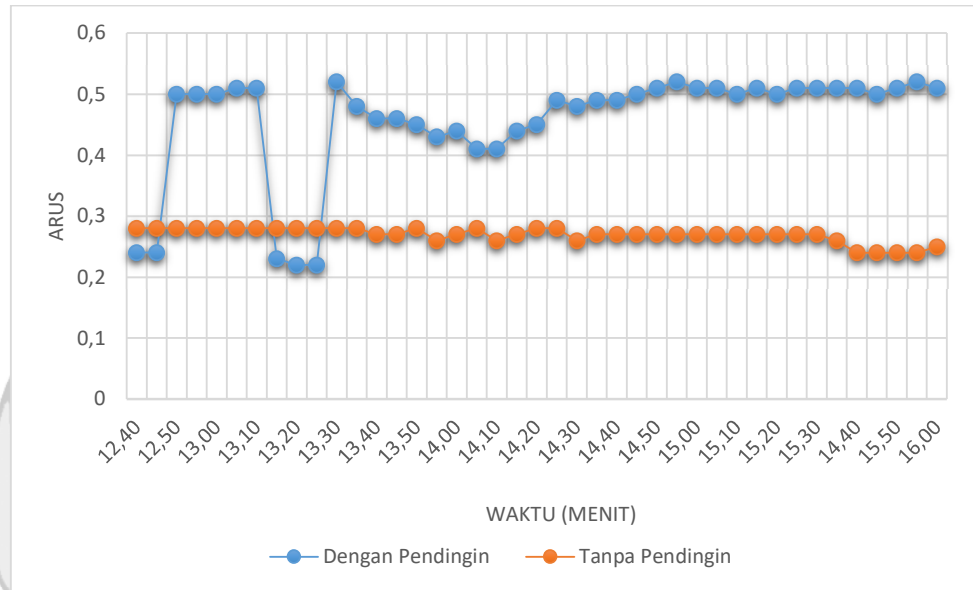




Gambar 4.3 Grafik Hubungan Tegangan output Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.3 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan tegangan keluaran panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa tegangan keluaran panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin. Nilai tegangan tertinggi dan terendah yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin adalah 19,77 V dan 18,93 V, Sedangkan untuk panel surya tanpa pendingin sebesar 19,46 V dan 18,66 V, Adapun tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 19,33 V dan 18,99 V. Hal ini menunjukkan bahwa dari hasil pengukuran panel surya yang menggunakan pendingin mengalami peningkatan tegangan rata-rata 1,76%. Nilai fluktuatif yang dihasilkan pada pukul 12.40-13.30

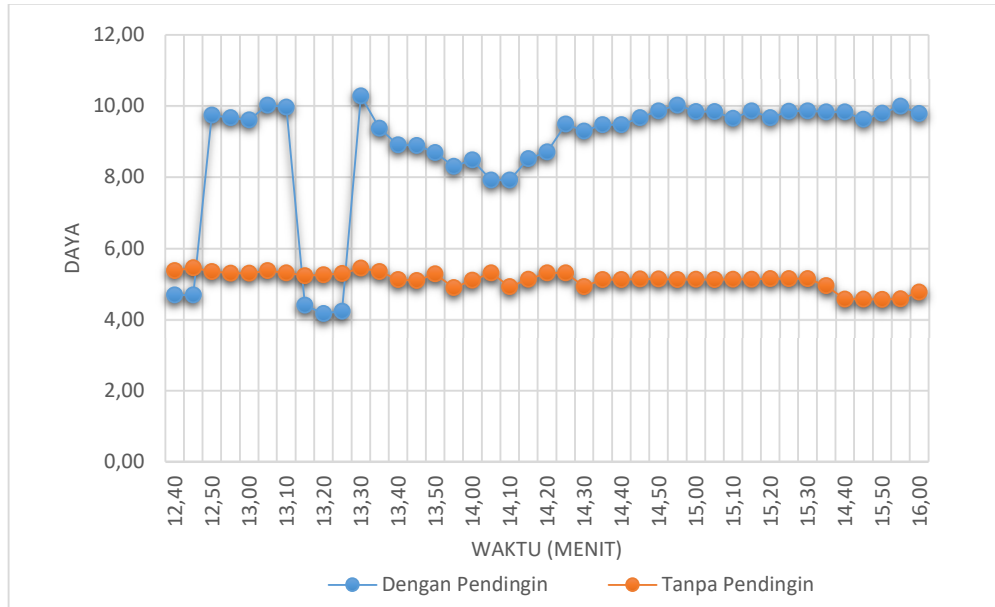
disebabkan oleh nilai intensitas cahaya yang berubah-ubah, Dimana perbedaan yang terjadi cukup besar.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Arus Panel Surya terhadap Waktu

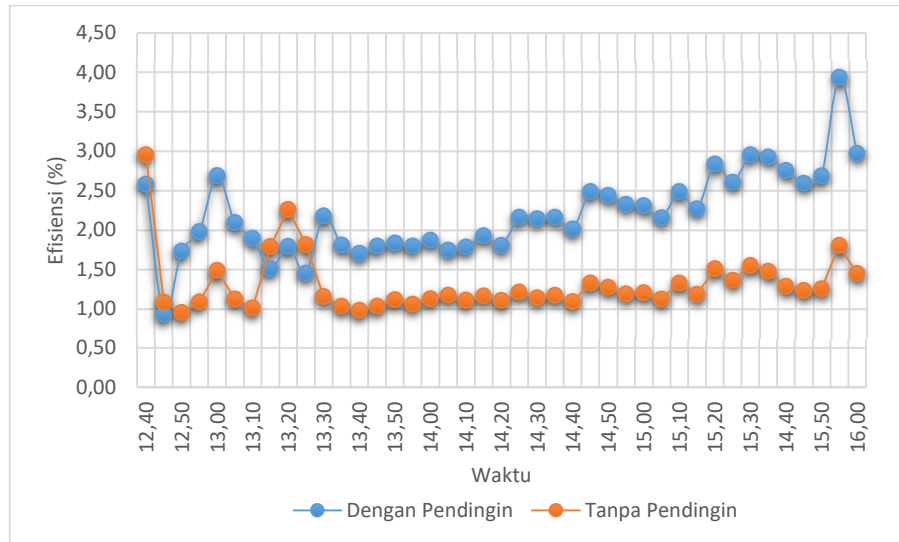
Gambar 4.4 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan arus keluaran panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa arus yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin hal ini disebabkan beban yang digunakan pada panel surya dengan pendingin lebih besar. Besarnya arus keluaran panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari semakin tinggi intensitas matahari maka arus yang dihasilkan akan semakin besar Adapun nilai arus lebih kecil yang dihasilkan oleh panel surya dengan pendingin pada pukul 12.40 dan 12.50 disebabkan oleh *fan* yang pada saat pengambilan data dalam keadaan tidak menyala sehingga arus beban

berkurang, begitupun yang terjadi pada pukul 13,15-13,30. Adapun rata-rata arus yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 0,45A dan 0,26A.



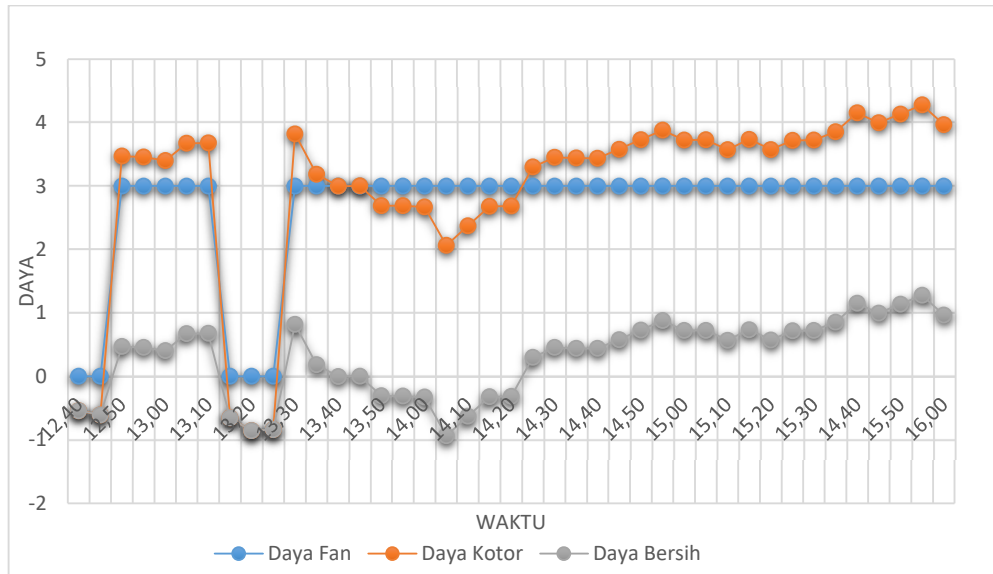
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Daya terhadap Waktu

Gambar 4.5 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin terhadap waktu, Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin. Adapun daya dihasilkan oleh panel surya dengan pendingin pada mengalami penurunan pada pukul 13.15-13.30 disebabkan karena *fan* pada saat pengambilan data dalam keadaan tidak menyala sehingga arus beban berkurang meyebabkan daya yang dihasilkan juga menurun. Rata-rata daya output yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 8,83 W dan 5,12W.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Efisiensi Panel Surya terhadap Waktu

Gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin dengan waktu, Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan dengan tanpa pendingin. Adapun efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya baik yang menggunakan pendingin maupun yang tanpa pendingin cenderung mengalami fluktuatif hal ini disebabkan oleh radiasi matahari yang berubah-ubah. Rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya yang menggunakan pendingin dan tanpa pendingin adalah 2,19% dan 1,31%. Jadi dapat diketahui kenaikan rata-rata efisiensi dari panel surya yang menggunakan pendingin adalah 0,88%.



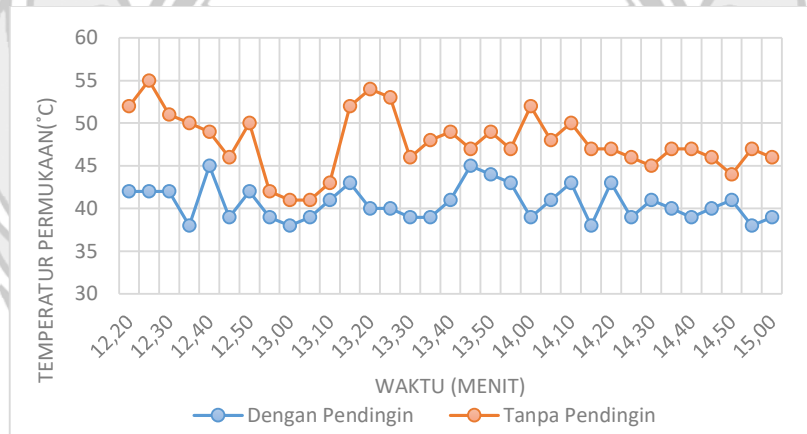
Gambar 4.7 Grafik Rugi-rugi Sistem Pendingin Terhadap Waktu

Gambar 4.7 menunjukkan hasil perhitungan daya panel surya sebelum dan sesudah menggunakan sistem pendingin dalam hal ini adalah daya *fan*. Peningkatan daya panel surya sebelum melibatkan rugi-rugi daya sistem pendingin adalah merupakan daya kotor yang dihitung berdasarkan selisih daya panel surya yang menggunakan pendingin dengan daya panel surya tanpa pendingin. Sedangkan peningkatan daya panel surya sesudah melibatkan rugi-rugi daya sistem pendingin adalah merupakan daya bersih yang dihitung berdasarkan selisih daya pada panel surya yang menggunakan pendingin dengan daya panel surya tanpa pendingin dan daya sistem pendingin itu sendiri (daya *fan*). Dari hasil tersebut dapat dijelaskan bahwa perbedaan temperatur yang kecil berpengaruh pada penggunaan sistem pendingin panel surya yang kurang efektif, karena perolehan kenaikan dayanya juga relatif kecil. Sebaliknya jika perbedaan temperatur panel surya dengan temperatur yang disetting pada kontrol berada atau melewati setting temperatur, maka

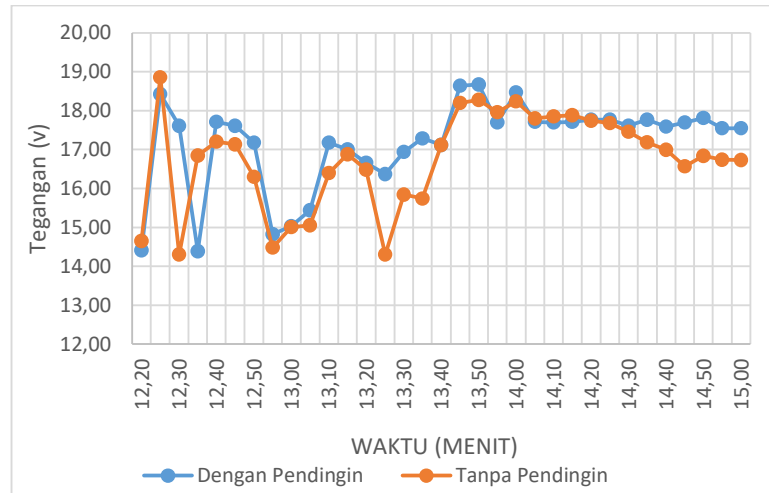
perolehan dayanya pun menjadi besar. Oleh karenanya sistem pendingin akan lebih efektif ketika diterapkan pada saat cuaca cerah, dimana sinar matahari bersinar secara terik sepanjang hari yang dapat meningkatkan temperatur panel surya bisa meningkat tajam.

Untuk grafik pada penelitian yang menggunakan beban battery 7AH dan beban kipas dc 12V 3 watt dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini. Grafik tersebut berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran 3 penelitian ini.

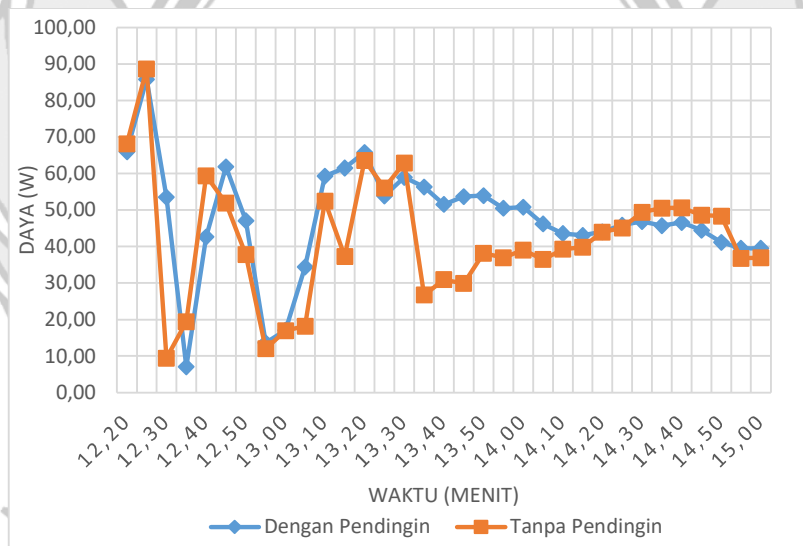
1. Grafik dengan beban Baterai 7AH data tanggal 16 Juli 2022



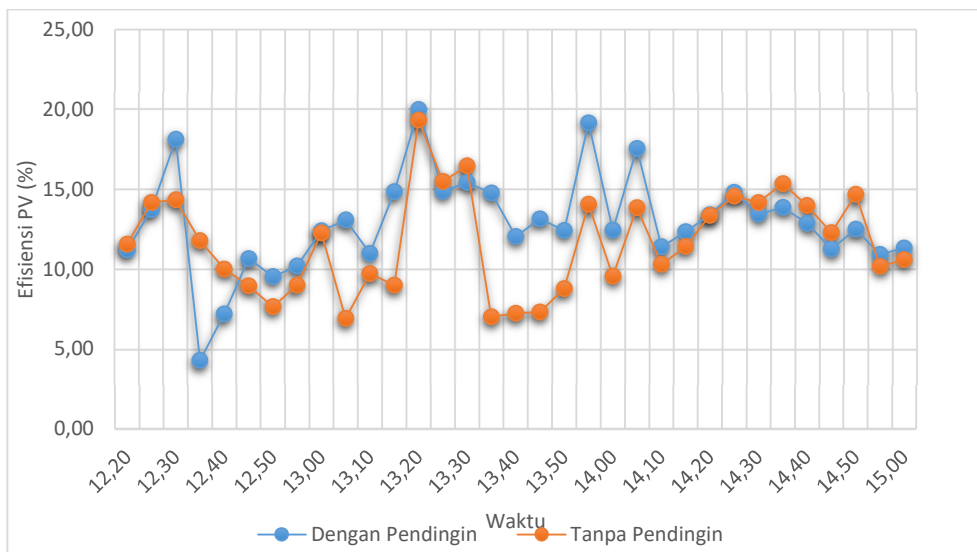
(a) Temperatur Permukaan



(b) Tegangan Output



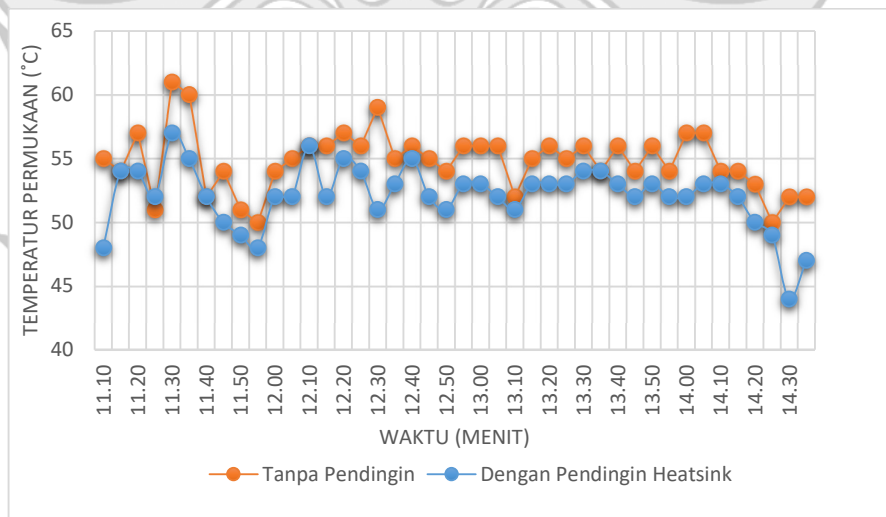
(c) Daya output



(d) Efisiensi

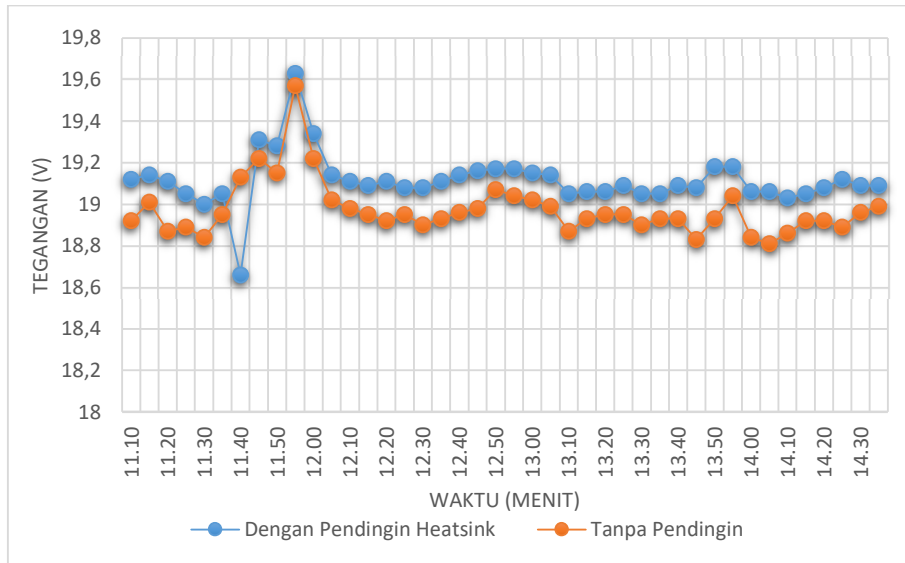
Gambar 4.8 Grafik (a) Temperatur permukaan, (b) Tegangan, (c) Daya output, (d) Efisiensi panel Surya terhadap waktu dengan beban Baterai 7Ah

2. Grafik dengan beban kipas dc 12V data tanggal 23 Juli 2022

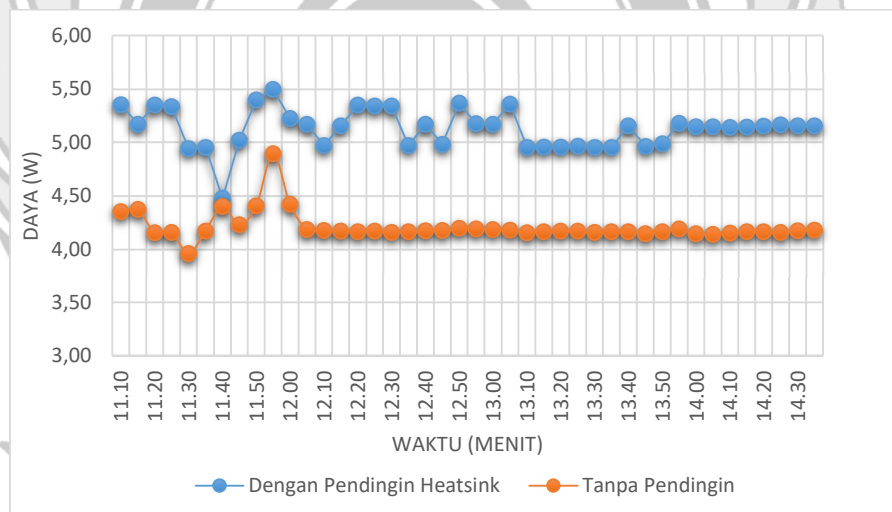


(a) Temperatur Permukaan

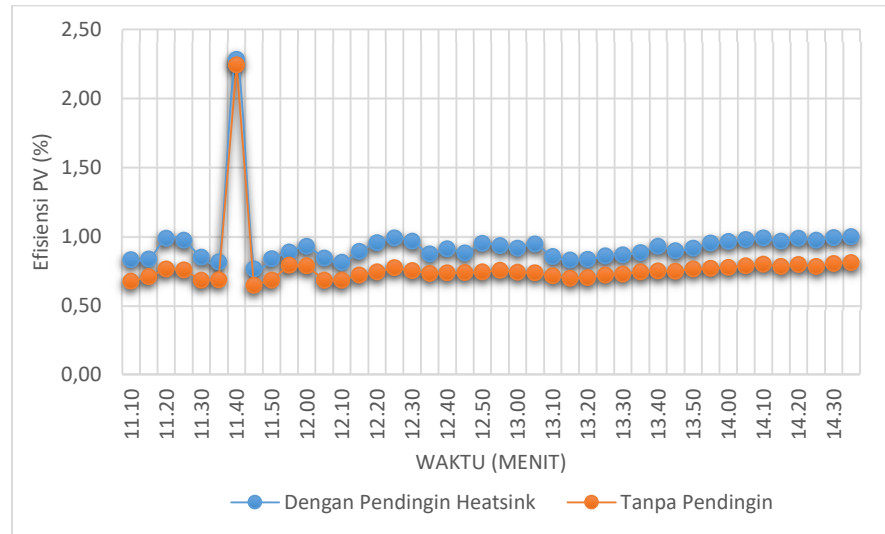




(b) Tegangan Output

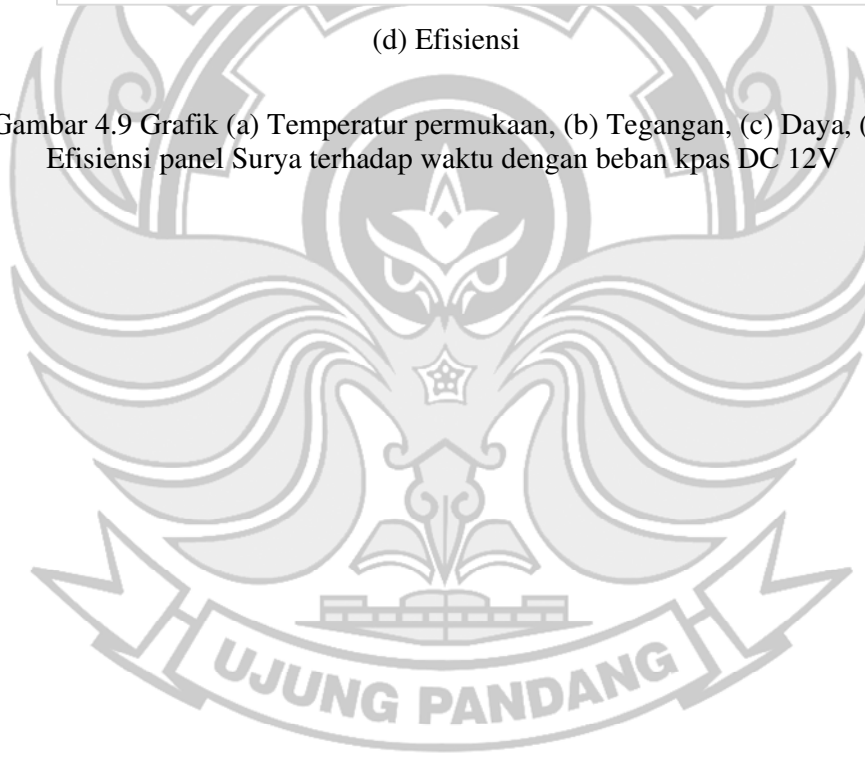


(c) Daya Output



(d) Efisiensi

Gambar 4.9 Grafik (a) Temperatur permukaan, (b) Tegangan, (c) Daya, (d) Efisiensi panel Surya terhadap waktu dengan beban kpas DC 12V

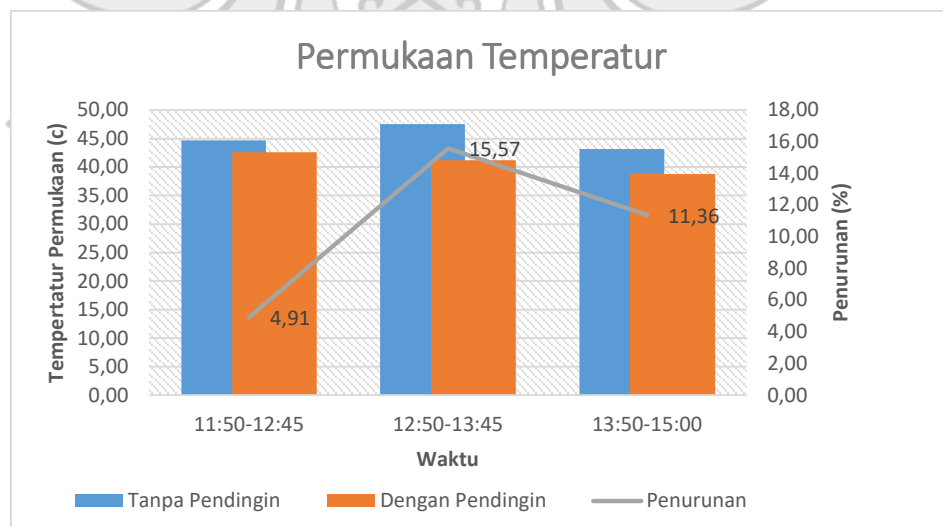


Berikut ini merupakan tabel rata-rata energi dan efisiensi yang dihasilkan dalam satu jam.

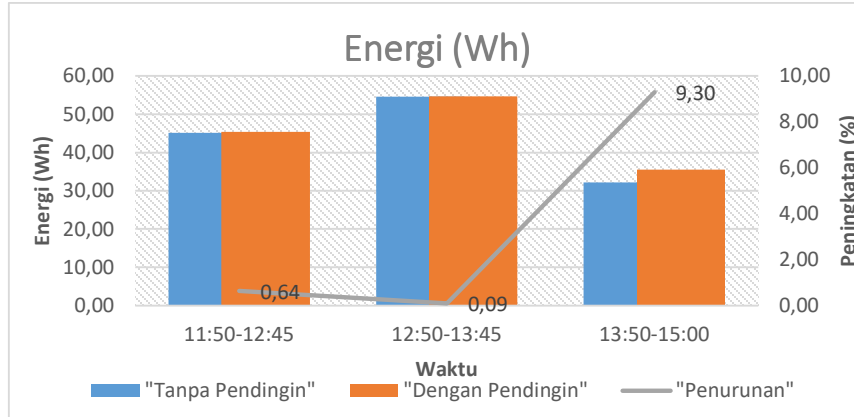
Tabel 4.3 Data rata-rata Peningkatan Energi, Efisiensi, dan penurunan Temperatur perjam

Tanggal	Durasi pengambilan data	Energi output (Wh)		Peningkatan (%)	Efisiensi (%)			Temperatur (C)		Penurunan (%)
		Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin		Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin	Peningkatan	Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin	
15 Juli 2022	11:50-12:45	45.14	45.43	0.64	7.92	7.96	0.04	44.67	42.58	4.91
	12:50-13:45	54.60	54.65	0.09	10.31	10.31	0.00	47.58	41.17	15.57
	13:50-15:00	32.20	35.50	9.30	8.50	9.44	0.94	43.13	38.73	11.36
16 Juli 2022	12:20-13:15	39.30	45.83	14.25	10.45	16.62	6.17	55.20	48.06	14.88
	13:20-15:00	43.35	48.66	10.91	12.38	13.81	1.43	47.86	40.57	17.97
22 Juli 2022	12:40-13:35	5.33	7.57	29.59	1.17	1.49	0.32	53.71	47.01	14.25
	13:40-14:35	5.12	8.71	41.22	0.88	1.49	0.61	56.88	49.05	15.96
	14:40-15:35	5.12	9.78	47.65	1.02	1.96	0.94	53.45	46.90	13.97
	15:40-16:00	1.89	4.02	53.03	1.11	2.36	1.25	49.74	45.79	8.63
23 Juli 2022	11:10-12:05	4.31	5.16	16.47	0.84	0.99	0.15	54.50	51.92	4.97
	12:10-13:05	4.17	5.20	19.81	0.74	0.92	0.18	56.00	53.03	5.60
	13:10-14:05	4.16	5.03	17.30	0.74	0.90	0.16	55.17	52.75	4.59
	14:10-14:35	1.71	2.11	19.17	0.79	0.98	0.19	52.5	49.17	6.77

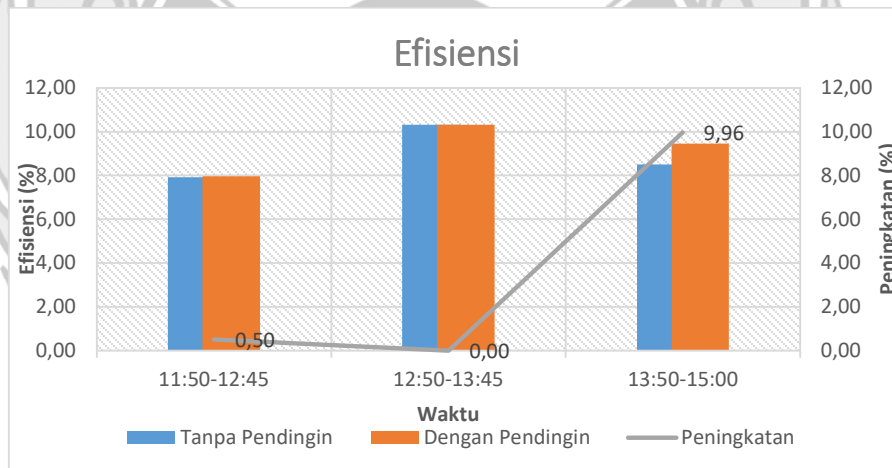
Pada tabel 4.3 merepresentasikan peningkatan rata-rata energi, efisiensi dan penurunan suhu dalam waktu satu jam. Tujuan dari perhitungan rata-rata dalam perjam ini adalah untuk mengetahui peningkatan rata-rata terbesar atau terkecil yang terjadi tiap jamnya. Seperti pada tanggal 15 Juli 2022 terlihat bahwa peningkatan energi terendah terjadi pada pukul 12.50-13.45 yaitu 0,09% dan efisiensinya tetap. Sedangkan untuk penurunan suhu yang paling besar terjadi pada pukul 12.50-13.45 ini menandakan bahwa sistem pendingin bekerja baik pada jam tersebut pada saat temperatur tinggi. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa untuk peningkatan energi rata-rata berada pada kisaran 0.09 % sampai 53,03% perjam, sedangkan untuk rata-rata peningkatan efisiensi perjam berada pada nilai 0,04% sampai 6,7%. Untuk penurunan suhu rata-rata dalam satu jam adalah 1,33°C sampai 7,88°C atau 4,91% sampai 17,97%. Berikut ini merupakan grafik pengujian tanggal 15 juli 2022, rata-rata peningkatan energi dan efisiensi serta penurunan suhu perjamnya.



Gambar 4.10 Grafik persentase penurunan temperatur tiap jam



Gambar 4.11 Grafik persentase peningkatan energi tiap jam

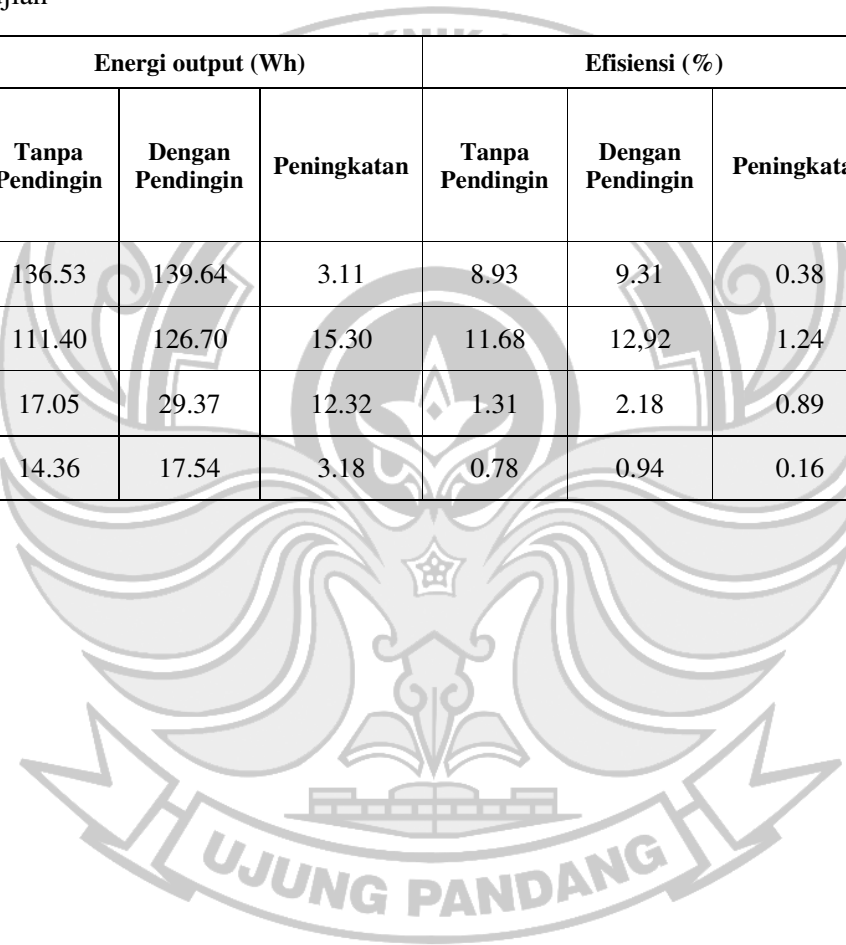


Gambar 4.12 Grafik persentase peningkatan efisiensi tiap jam

Untuk hasil keseluruhan rata-rata data pengukuran yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Data Rata-rata pengujian

Tanggal	Durasi pengambilan data (JAM)	Energi output (Wh)			Efisiensi (%)			Temperatur (°C)		
		Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin	Peningkatan	Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin	Peningkatan	Tanpa Pendingin	Dengan Pendingin	Penurunan
15 juli 2022	3.17	136.53	139.64	3.11	8.93	9.31	0.38	44.97	40.67	4.3
16 Juli 2022	2.66	111.40	126.70	15.30	11.68	12.92	1.24	47.79	40.67	7.12
22 Juli 2022	3.33	17.05	29.37	12.32	1.31	2.18	0.89	54.1	47.4	6.7
23 Juli 2022	3.42	14.36	17.54	3.18	0.78	0.94	0.16	54.83	52.1	2.73



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil analisis data, maka dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan sistem pendingin berupa *heatsink-fan* pada panel surya, diperoleh hasil adanya perbedaan temperatur permukaan dengan panel surya yang tidak menggunakan pendingin *heatsink-fan*. Hal ini menandakan bahwa dengan penambahan sistem pendingin dapat menurunkan temperatur permukaan panel namun belum optimal dalam hal peningkatan efisiensi dan daya yang dihasilkan apabila ditinjau dari hasil analisis data yang telah dilakukan.

### 5.2 Saran

1. Untuk sistem pengaman motor *fan* diperlukan model proteksi untuk menghindari kerusakan hubung singkat akibat fluida cair.
2. Diperlukan analisis ekonomis pada sistem implementasi dengan penambahan sistem pendingin seperti ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almanda, D., & Bhaskara, D. (2020). Studi Pemilihan Sistem Pendingin pada Panel Surya Menggunakan Water Cooler, Air Mineral dan Air Laut. *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOMputeR) Vol. 1 No. 2*, 43.
- Amelia, A., Irwan, Y., Irwanto, M., Leow, W., Gomesh, N., Safwati, I., & Anuar, M. (2015). Cooling on Photovoltaic Panel Using Forced Air Convection Induced by DC Fan. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 6, No. 2, April 2016*, pp. 526~534, 528.
- Arifin, Z., Suyitno, S., Dwi Prija Tjahjana, D. D., Juwana, W. E., Aulia Putra, M. R., & Prabowo, A. R. (2020). The Effect of Heat Sink Properties on Solar Cell Cooling Systems. *applied sciences*.
- Covert Units. (2022, September 15). Retrieved from Measurement Unit Converter: <https://www.convertunits.com>
- Farhana, Z., Irwan, Y., Azimmi, R., Razliana, A., & Gomesh, N. (2012). Experimental Investigation of Photovoltaic Modules Cooling System. *IEEE Symposium on Computers & Informatics*, 165.
- Fatoni, E. K., Taqwa, A., & Kusumanto, R. (2019). Solar Panel Performance Improvement using Heatsink Fan as the Cooling Effect. *Journal Of Physics: Conf. Series 1167 (2019) 012031*, 5.
- Harafany, D. S., Prasetya, S., & Sukandi, A. (2021). Perbandingan Efisiensi Panel Surya dengan Pemanfaatan Heatsink dan Pengaruh Sensor pada Panel Surya. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 261.
- 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)*, 73.

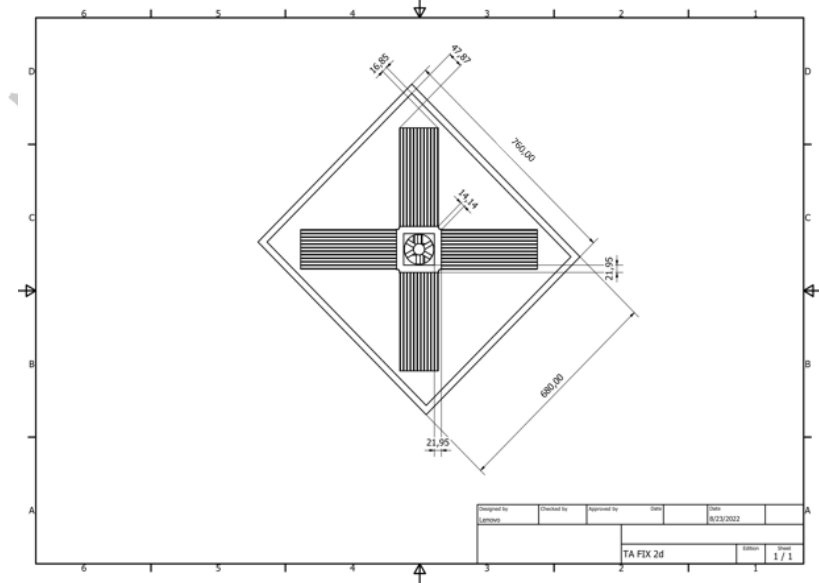
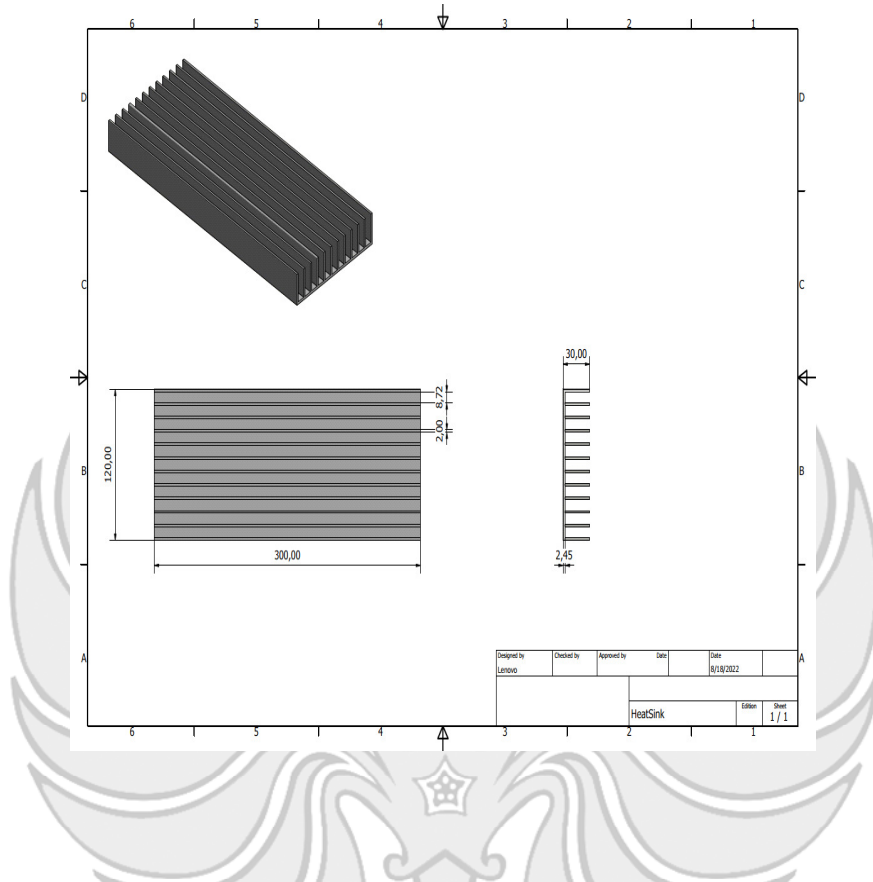


- Hariyanto, S. (2021). Rancang bangun REFLECTOR Untuk Mengoptimalkan Daya Serap Matahari Pada Panel Surya Dengan Variasi Sudut Guna Menghasilkan Daya Optimal. *Jurnal Ilmiah Telsinas*, 41.
- Kreiith, Frank, Priyono, M.sc, & Arko. (1997). *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
- Loegimin, M. S., Sumantri, B., Nugroho, M. A., Hasnira, & Windarko, N. A. (2020). SISTEM PENDINGINAN AIR UNTUK PANEL SURYA DENGAN METODE FUZZY LOGIC. *Jurnal Integrasi Vol. 12 No. 1, April 2020, 21-30*, 21.
- Lupu, A. G., Homutescu, V. M., Balanescu, D. T., & Popescu, A. (2018). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 6.
- Marausna, G. (2021). Pengujian Sistem Pendingin Panel Surya Berbentuk Tubular Cooler Dengan Solar Simulator Untuk Menguji Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 11.
- Rahman, F., Rokhmat, M., & Fathonah, I. W. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur Permukaan Sel Surya Terhadap Kapasitas Daya Keluaran. *eProceedings of Engineering*.
- Uhsg, T., Lubis, Z., & Sitorus, T. B. (2016). Analisa kinerja sistem pendingin peltier yang menggunakan sel PV dengan sumber energi radiasi matahari. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 167.
- Widodo, S. B., Arif, Z., & Royadi, S. (2015). Kaji Eksperimental Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Keluaran. *Jurnal Ilmiah Jurutera*, 38-39.



# LAMPIRAN

Lampiran 1 Ukuran *Heatsink*



Lampiran 2 Foto kegiatan

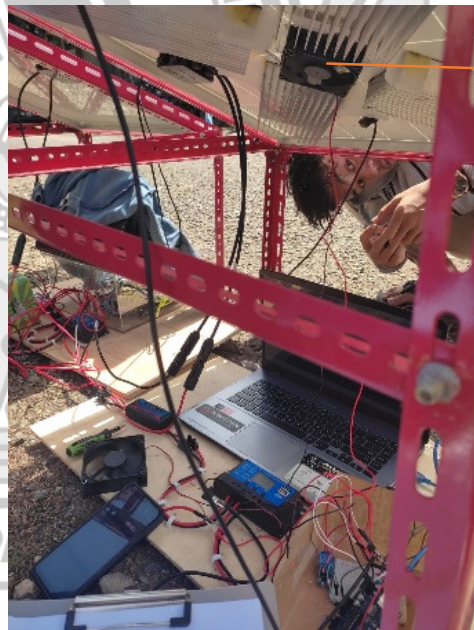
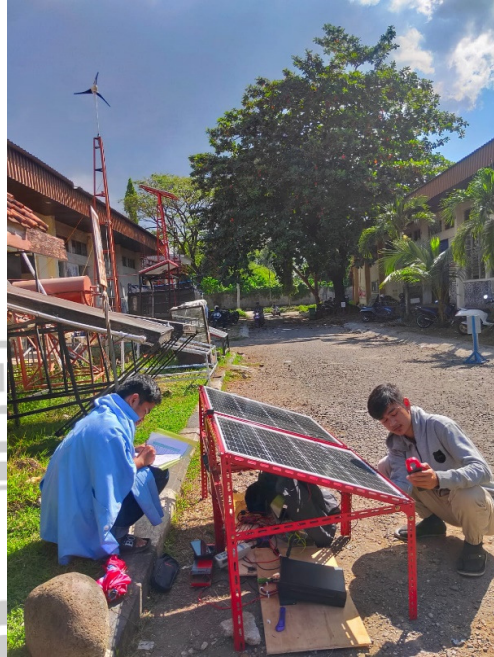


Pembuatan Rangka



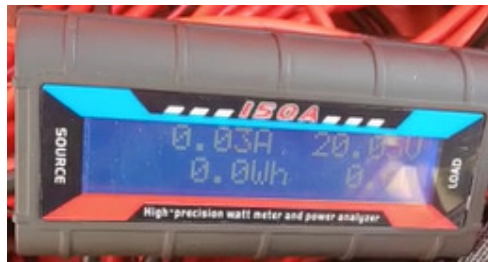
Pemasangan thermal glue pada Heatsink

Kontrol suhu



Fan

Kegiatan pengambilan data



Digital DC Wattmeter



Solar Power Meter



Clamp Meter

Alat ukur yang digunakan

Lampiran 3 Data Hasil Penelitian

Lampiran 3. 1 Data hasil penelitian 15 Juli 2022 beban baterai dan lampu dc

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Tanpa Pendingin				$\eta$ [%]	Dengan Pendingin						Analisis			
		V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]		V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]	$\eta$ [%]	V [V]	I [A]	P fan [W]	Daya Kotor [W]	Daya Bersih [W]
11.50	825	17.77	1.89	33.59	40	6.18	14.59	2.52	36.7668	37	6.77	12	0.23	2.76	3.18	0.42
11.55	835	17.77	2.32	41.23	41	7.50	17.62	2.64	46.5168	38	8.46	12	0.23	2.76	5.29	2.53
12.00	880	17.63	1.55	27.33	45	4.72	17.88	2.04	36.4752	37	6.30	12	0.22	2.64	9.15	6.51
12.05	925	17.51	1.75	30.64	41	5.03	17.67	1.62	28.6254	39	4.70	12	0.22	2.64	-2.02	-4.66
12.10	860	17.54	1.77	31.05	37	5.48	17.65	1.66	29.299	39	5.18	12	0.21	2.52	-1.75	-4.27
12.15	845	17.99	3.37	60.63	43	10.90	18.13	2.54	46.0502	41	8.28	12	0.22	2.64	-14.58	-17.22
12.20	860	17.88	3.13	55.96	42	9.89	18	2.63	47.34	41	8.36	12	0.23	2.76	-8.62	-11.38
12.25	860	17.82	3.27	58.27	48	10.29	18.08	3.42	61.8336	48	10.92	12	0.22	2.64	3.56	0.92
12.30	880	17.74	3.28	58.19	51	10.05	18	3.45	62.1	49	10.72	12	0.23	2.76	3.91	1.15
12.35	860	17.37	2.11	36.65	49	6.47	17.67	2.43	42.9381	45	7.59	12	0.22	2.64	6.29	3.65
12.40	855	17.59	3.37	59.28	49	10.53	17.81	3.15	56.1015	48	9.97	12	0.22	2.64	-3.18	-5.82
12.45	935	17.4	2.81	48.89	50	7.94	17.62	2.91	51.2742	49	8.33	12	0.22	2.64	2.38	-0.26
12.50	850	17.34	2.87	49.77	50	8.89	17.64	3.13	55.2132	47	9.87	12	0.22	2.64	5.45	2.81
12.55	840	17.4	3.23	56.20	49	10.16	17.47	2.9	50.663	43	9.16	12	0.22	2.64	-5.54	-8.18
13.00	850	17.31	3.26	56.43	41	10.09	17.62	3.29	57.9698	41	10.36	12	0.22	2.64	1.54	-1.10
13.05	910	17.22	2.81	48.39	46	8.08	17.14	3.06	52.4484	42	8.76	12	0.22	2.64	4.06	1.42
13.10	750	17.16	2.72	46.68	50	9.45	17.3	2.76	47.748	41	9.67	12	0.22	2.64	1.07	-1.57
13.15	780	17.16	2.77	47.53	47	9.26	17.23	2.69	46.3487	39	9.03	12	0.22	2.64	-1.18	-3.82
13.20	835	17.19	2.95	50.71	45	9.23	17.32	3.42	59.2344	41	10.78	12	0.22	2.64	8.52	5.88

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Tanpa Pendingin					Dengan Pendingin							Analisis		
		V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]	$\eta$ [%]	V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]	$\eta$ [%]	V [V]	I [A]	P fan [W]	Daya Kotor [W]	Daya Bersih [W]
13.25	825	17.36	3.98	69.09	46	12.72	17.36	3.55	61.628	41	11.35	12	0.22	2.64	-7.46	-10.10
13.30	885	17.08	2.66	45.43	49	7.80	17.18	2.93	50.3374	38	8.64	12	0.22	2.64	4.90	2.26
13.35	750	17.02	3.82	65.02	48	13.17	17.09	2.86	48.8774	41	9.90	12	0.22	2.64	-16.14	-18.78
13.40	840	17.08	3.25	55.51	50	10.04	17.18	3.16	54.2888	37	9.82	12	0.22	2.64	-1.22	-3.86
13.45	660	17.19	3.75	64.46	50	14.84	17.33	4.11	71.2263	43	16.40	12	0.22	2.64	6.76	4.12
13.50	730	17.17	3.97	68.16	51	14.19	17.21	4.15	71.4215	46	14.86	12	0.22	2.64	3.26	0.62
13.55	640	17.08	3.85	65.76	53	15.61	17.2	4.02	69.144	43	16.41	12	0.22	2.64	3.39	0.75
14.00	650	16.97	3.64	61.77	50	14.44	16.59	2.6	43.134	45	10.08	12	0.22	2.64	-18.64	-21.28
14.05	690	16.42	2.3	37.77	49	8.32	16.53	2.27	37.5231	40	8.26	12	0.22	2.64	-0.24	-2.88
14.10	710	15.51	2.45	38.00	44	8.13	16.42	3.01	49.4242	38	10.58	12	0.22	2.64	11.42	8.78
14.15	400	16.37	1.57	25.70	41	9.76	15.64	2.3	35.972	39	13.66	12	0.22	2.64	10.27	7.63
14.20	620	14.84	0.87	12.91	44	3.16	14.97	1.91	28.5927	38	7.01	12	0.22	2.64	15.68	13.04
14.25	400	16.45	2.26	37.18	41	14.12	16.5	2.36	38.94	35	14.79	0	0	0	1.76	1.76
14.30	580	16	2.32	37.12	40	9.72	16.45	2.51	41.2895	37	10.82	0	0	0	4.17	4.17
14.35	530	15.91	1.67	26.57	42	7.62	15.98	2.37	37.8726	38	10.86	0	0	0	11.30	11.30
14.40	500	14.7	0.91	13.38	41	4.06	14.8	2.01	29.748	38	9.04	0	0	0	16.37	16.37
14.45	470	15.5	1.47	22.79	40	7.37	15.67	1.18	18.4906	37	5.98	0	0	0	-4.29	-4.29
14.50	530	15.01	1.11	16.66	38	4.78	15.04	1.09	16.3936	35	4.70	0	0	0	-0.27	-0.27
14.55	500	14.41	0.6	8.65	38	2.63	14.45	0.56	8.092	36	2.46	0	0	0	-0.55	-0.55
15.00	450	14.85	0.71	10.54	35	3.56	14.9	0.43	6.407	36	2.16	0	0	0	-4.14	-4.14
Rata-rata	733.21	16.81	2.52	43.07	44.97	8.88	16.84	2.61	44.46	40.67	9.26	9.54	0.18	2.11	1.38	-0.73



Lampiran 3. 2 Data penelitian tanggal 16 Juli 2022 Beban Baterai dan lampu DC

Waktu (WITA)	G W/m <sup>2</sup>	Tanpa Pendingin					Dengan Pendingin									Analisis	
		V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [C]	$\eta$ (%)	V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [C]	$\eta$ (%)	V fan [V]	I fan [A]	P fan [W]	Daya Kotor [W]	Daya Bersih [W]	
12.20	896	14.65	4.65	68.12	52	11.55	14.41	4.58	66.00	42	11.19	12	0.23	2.76	-2.12	-4.88	
12.25	950	18.86	4.70	88.64	55	14.18	18.42	4.66	85.84	42	13.73	12	0.23	2.76	-2.80	-5.56	
12.30	100	14.30	0.66	9.44	51	14.34	15.70	0.76	11.93	42	18.13	12	0.22	2.64	2.49	-0.15	
12.35	250	16.85	1.15	19.38	50	11.78	14.39	0.49	7.05	38	4.28	12	0.22	2.64	-12.33	-14.97	
12.40	900	17.20	3.45	59.34	49	10.02	17.71	2.41	42.68	45	7.20	0	0	0	-16.66	-16.66	
12.45	880	17.13	3.03	51.90	46	8.96	17.61	3.51	61.81	39	10.67	0	0	0	9.91	9.91	
12.50	750	16.30	2.32	37.82	50	7.66	17.18	2.74	47.07	42	9.54	12	0.23	2.76	9.26	6.50	
12.55	203	14.48	0.83	12.02	42	8.99	14.82	0.92	13.63	39	10.20	12	0.22	2.64	1.62	-1.02	
13.00	210	15.01	1.13	16.96	41	12.27	15.03	1.14	17.13	38	12.40	12	0.23	2.76	0.17	-2.59	
13.05	400	15.05	1.21	18.21	41	6.92	15.44	2.23	34.43	39	13.08	0	0	0	16.22	16.22	
13.10	820	16.40	3.20	52.48	43	9.72	17.18	3.45	59.27	41	10.98	12	0.23	2.76	6.79	4.03	
13.15	630	16.88	2.21	37.30	52	9.00	17.00	3.62	61.54	43	14.84	12	0.22	2.64	24.24	21.60	
13.20	500	16.48	3.86	63.61	54	19.33	16.66	3.95	65.81	40	20.00	12	0.22	2.64	2.19	-0.45	
13.25	550	14.30	3.92	56.06	53	15.48	16.37	3.29	53.86	40	14.88	12	0.22	2.64	-2.20	-4.84	
13.30	580	15.84	3.97	62.88	46	16.47	16.94	3.48	58.95	39	15.44	12	0.22	2.64	-3.93	-6.57	
13.35	580	15.74	1.70	26.76	48	7.01	17.29	3.26	56.37	39	14.76	12	0.22	2.64	29.61	26.97	
13.40	650	17.12	1.81	30.99	49	7.24	17.12	3.01	51.53	41	12.04	12	0.22	2.64	20.54	17.90	
13.45	620	18.20	1.64	29.85	47	7.31	18.64	2.88	53.68	45	13.15	12	0.22	2.64	23.84	21.20	
13.50	660	18.28	2.09	38.21	49	8.79	18.67	2.89	53.96	44	12.42	12	0.22	2.64	15.75	13.11	

Waktu (WITA)	G W/m <sup>2</sup>	Tanpa Pendingin					Dengan Pendingin								Analisis	
		V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [C]	$\eta$ (%)	V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [C]	$\eta$ (%)	V fan [V]	I fan [A]	P fan [W]	Daya Kotor [W]	Daya Bersih [W]
13.55	400	17.96	2.06	37.00	47	14.05	17.70	2.85	50.45	43	19.16	12	0.22	2.64	13.45	10.81
14.00	620	18.24	2.14	39.03	52	9.56	18.47	2.75	50.79	39	12.45	12	0.22	2.64	11.76	9.12
14.05	400	17.80	2.05	36.49	48	13.86	17.71	2.61	46.22	41	17.56	12	0.22	2.64	9.73	7.09
14.10	580	17.85	2.20	39.27	50	10.29	17.70	2.46	43.54	43	11.41	12	0.22	2.64	4.27	1.63
14.15	530	17.88	2.23	39.87	47	11.43	17.71	2.43	43.04	38	12.34	12	0.22	2.64	3.16	0.52
14.20	500	17.74	2.48	44.00	47	13.37	17.77	2.48	44.07	43	13.39	12	0.22	2.64	0.07	-2.57
14.25	470	17.68	2.55	45.08	46	14.57	17.77	2.58	45.85	39	14.82	12	0.22	2.64	0.76	-1.88
14.30	530	17.46	2.83	49.41	45	14.16	17.61	2.66	46.84	41	13.43	12	0.22	2.64	-2.57	-5.21
14.35	500	17.19	2.94	50.54	47	15.36	17.77	2.57	45.67	40	13.88	12	0.22	2.64	-4.87	-7.51
14.40	550	16.99	2.98	50.63	47	13.99	17.59	2.65	46.61	39	12.88	12	0.22	2.64	-4.02	-6.66
14.45	600	16.57	2.93	48.55	46	12.29	17.70	2.51	44.43	40	11.25	12	0.22	2.64	-4.12	-6.76
14.50	500	16.84	2.87	48.33	44	14.69	17.81	2.31	41.14	41	12.50	12	0.22	2.64	-7.19	-9.83
14.55	550	16.74	2.20	36.83	47	10.17	17.55	2.25	39.49	38	10.91	12	0.22	2.64	2.66	0.02
15.00	530	16.73	2.21	36.97	46	10.60	17.55	2.25	39.49	39	11.32	12	0.22	2.64	2.51	-0.13
Rata-rata	557.2	16.75	2.49	41.88	47.79	11.68	17.12	2.69	46.37	40.67	12.92	10.91	0.20	2.42	4.49	2.07



Lampiran 3. 3 Data penelitian 23 Juli 2022 beban kipas

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Tanpa Pendingin					Dengan Pendingin					Tempertur Udara [°C]
		V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]	$\eta$ [%]	V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]	$\eta$ [%]	
11.10	979	18.92	0.23	4.35	55	0.68	19.12	0.28	5.35	48	0.83	33
11.15	940	19.01	0.23	4.37	54	0.71	19.14	0.27	5.17	54	0.84	33
11.20	825	18.87	0.22	4.15	57	0.76	19.11	0.28	5.35	54	0.99	36
11.25	835	18.89	0.22	4.16	51	0.76	19.05	0.28	5.33	52	0.97	36
11.30	884	18.84	0.21	3.96	61	0.68	19	0.26	4.94	57	0.85	36
11.35	925	18.95	0.22	4.17	60	0.68	19.05	0.26	4.95	55	0.81	36
11.40	298	19.13	0.23	4.40	52	2.24	18.66	0.24	4.48	52	2.28	38
11.45	998	19.22	0.22	4.23	54	0.64	19.31	0.26	5.02	50	0.76	38
11.50	980	19.15	0.23	4.40	51	0.68	19.28	0.28	5.40	49	0.84	34
11.55	942	19.57	0.25	4.89	50	0.79	19.63	0.28	5.50	48	0.89	34
12.00	855	19.22	0.23	4.42	54	0.79	19.34	0.27	5.22	52	0.93	36
12.05	932	19.02	0.22	4.18	55	0.68	19.14	0.27	5.17	52	0.84	36
12.10	931	18.98	0.22	4.18	56	0.68	19.11	0.26	4.97	56	0.81	35
12.15	880	18.95	0.22	4.17	56	0.72	19.09	0.27	5.15	52	0.89	35
12.20	852	18.92	0.22	4.16	57	0.74	19.11	0.28	5.35	55	0.95	35
12.25	821	18.95	0.22	4.17	56	0.77	19.08	0.28	5.34	54	0.99	35
12.30	842	18.9	0.22	4.16	59	0.75	19.08	0.28	5.34	51	0.96	35
12.35	865	18.93	0.22	4.16	55	0.73	19.11	0.26	4.97	53	0.87	35
12.40	862	18.96	0.22	4.17	56	0.74	19.14	0.27	5.17	55	0.91	35
12.45	860	18.98	0.22	4.18	55	0.74	19.16	0.26	4.98	52	0.88	35
12.50	859	19.071	0.22	4.20	54	0.74	19.17	0.28	5.37	51	0.95	36

Waktu [WITA]	G [W/m <sup>2</sup> ]	Tanpa Pendingin					Dengan Pendingin					Tempertur Udara [°C]
		V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]	$\eta$ [%]	V [V]	I [A]	Pout [W]	Tatas [°C]	$\eta$ [%]	
12.55	845	19.04	0.22	4.19	56	0.75	19.17	0.27	5.18	53	0.93	36
13.00	859	19.02	0.22	4.18	56	0.74	19.15	0.27	5.17	53	0.91	34
13.05	862	18.99	0.22	4.18	56	0.74	19.14	0.28	5.36	52	0.94	34
13.10	883	18.87	0.22	4.15	52	0.71	19.05	0.26	4.95	51	0.85	34
13.15	910	18.93	0.22	4.16	55	0.70	19.06	0.26	4.96	53	0.83	35
13.20	904	18.95	0.22	4.17	56	0.70	19.06	0.26	4.96	53	0.83	35
13.25	880	18.95	0.22	4.17	55	0.72	19.09	0.26	4.96	53	0.86	35
13.30	868	18.9	0.22	4.16	56	0.73	19.05	0.26	4.95	54	0.87	36
13.35	853	18.93	0.22	4.16	54	0.74	19.05	0.26	4.95	54	0.88	36
13.40	845	18.93	0.22	4.16	56	0.75	19.09	0.27	5.15	53	0.93	35
13.45	843	18.83	0.22	4.14	54	0.75	19.08	0.26	4.96	52	0.89	35
13.50	828	18.93	0.22	4.16	56	0.76	19.18	0.26	4.99	53	0.91	37
13.55	828	19.04	0.22	4.19	54	0.77	19.18	0.27	5.18	52	0.95	37
14.00	812	18.84	0.22	4.14	57	0.78	19.06	0.27	5.15	52	0.96	36
14.05	800	18.81	0.22	4.14	57	0.79	19.06	0.27	5.15	53	0.98	36
14.10	790	18.86	0.22	4.15	54	0.80	19.03	0.27	5.14	53	0.99	34
14.15	810	18.92	0.22	4.16	54	0.78	19.05	0.27	5.14	52	0.96	34
14.20	794	18.92	0.22	4.16	53	0.80	19.08	0.27	5.15	50	0.99	34
14.25	808	18.89	0.22	4.16	50	0.78	19.12	0.27	5.16	49	0.97	34
14.30	790	18.96	0.22	4.17	52	0.80	19.09	0.27	5.15	44	0.99	34
14.35	785	18.99	0.22	4.18	52	0.81	19.09	0.27	5.15	47	1.00	34
Rata-rata	851.48	18.97	0.22	4.21	54.83	0.78	19.11	0.27	5.13	52.10	0.94	35.17

## Lampiran 4 Program Arduino Kontrol Suhu

File Edit Sketch Tools Help

```
kontrol_kipas_berdasarkan_suhu_fixxx$  
1 #include<Wire.h>  
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // libray lcd  
3 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);  
4  
5 #include <OneWire.h>  
6 #include <DallasTemperature.h>  
7  
8 #define ONE_WIRE_BUS 4 // PIN 4  
9 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);  
10 DallasTemperature sensors(&oneWire);  
11 int fan= A2;  
12 void setup(){  
13   pinMode (fan, OUTPUT);  
14   Serial.begin(9600);  
15   sensors.begin();  
16  
17   lcd.init();  
18   lcd.backlight();  
19 }  
20 void loop()  
21 {  
22   sensors.requestTemperatures();  
23   float datasuhu = sensors.getTempCByIndex(0);  
24  
25   Serial.print("SUHU :");  
26   Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0));  
27   Serial.println("-----");  
28   lcd.setCursor(0,0);|  
29  
29   lcd.print("SUHU :");  
30   lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));  
31   delay(300);  
32   if (sensors.getTempCByIndex(0)<45)  
33   {  
34     digitalWrite(fan, LOW);  
35   }  
36   else if (sensors.getTempCByIndex(0)>=45)  
37   {  
38     digitalWrite (fan, HIGH);  
39   }  
40 }
```

Lampiran 5 Tabel Panas Spesifik (Cp)

<b>Bahan</b>	<b>Panas Spesifik (J/g°C)</b>	<b>Kapasitas Panas (J/°C untuk 100 g)</b>
emas	0,129	12.9
air raksa	0,140	14.0
tembaga	0,385	38.5
besi	0,450	45.0
garam (Nacl)	0,864	86.4
aluminium	0,902	90.2
udara	1.01	101
Es	2.03	203
air	4.179	417.9

