

## Analisis Kinerja Thin Solar Panel 100 WP Untuk Meningkatkan Daya Keluaran

**Achmad Raiski Maulana**

Program Studi Teknik Elektro Sarjana, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Indonesia  
Email:

### Abstrak

Pada penelitian Analisis Kinerja Thin Solar Panel 100 WP Untuk Meningkatkan Daya Keluaran bertujuan untuk mengetahui cara menaikkan efisiensi dari Thin Solar Panel dan mengetahui penyebab kecilnya daya keluaran pada Thin Solar Panel. Metode analisis yang dilakukan meliputi pengukuran produktivitas listrik dalam kondisi pengujian standar, kinerja daya listrik, daya keluaran listrik, dan hasil pengukuran tegangan arus (V-I) akan dijadikan grafik. Pengumpulan data yang dilakukan dengan melakukan pengukuran tegangan, arus, daya yang dihasilkan oleh panel surya tipe Thin Solar Panel dan Polycrystalline dalam analisis kinerja Solar Panel 100 WP. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja Thin Solar Panel, seperti intensitas cahaya matahari dan suhu permukaan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan ketebalan akrilik 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan cahaya lampu dan cahaya matahari yang dilakukan sebanyak dua kali pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu permukaan yang lebih rendah pada Thin Solar Panel dan Polycrystalline menghasilkan daya keluaran yang lebih baik. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami dan meningkatkan daya keluaran melalui analisis kinerja Thin Solar Panel 100 WP.

**Kata Kunci:** Thin Solar Panel, Polycrystalline, Akrilik, Daya, Suhu

### Abstract

*The study "Analysis of the Performance of a 100 WP Thin Solar Panel to Increase Power Output" aims to determine how to improve the efficiency of thin solar panels and identify the causes of low power output in thin solar panels. The analysis methods employed include measuring electrical productivity under standard testing conditions, electrical power performance, electrical output power, and voltage-current (V-I) measurement results, which will be plotted as graphs. Data collection was conducted by measuring voltage, current, and power generated by Thin Solar Panels and Polycrystalline panels in the performance analysis of 100 WP Solar Panels. Additionally, this study also considers factors affecting the performance of Thin Solar Panels, such as sunlight intensity and surface temperature. The study was conducted using acrylic thicknesses of 1.5 mm, 2 mm, and 3 mm under both artificial light and sunlight, with two repetitions. The results of the study indicate that lower surface temperatures on Thin Solar Panels and Polycrystalline panels result in better power output. This study provides an important contribution to understanding and improving power output through the performance analysis of 100 WP Thin Solar Panels.*

**Keywords:** Thin solar panel, Polycrystalline, Acrylic, Power, Temperature



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi akan terus bertambah seiring dengan pertumbuhan penduduk (Yanto, 2020). Terutama energi listrik yang meningkat pesat bahkan di luar estimasi yang diperkirakan. Hal ini diakibatkan karena adanya peningkatan diseluruh aktivitas kehidupan yang menggunakan energi listrik (Manan, 2009). Terdapat sumber energi yang tidak dapat habis dan tidak polutif yaitu energi surya, pemanfaatan energi surya dengan baik dapat membantu meningkatkan kebutuhan energi listrik dengan menggunakan sel surya (Purwoto *et al.*, 2018)(Widayana, 2012). Sel surya mempunyai 3 jenis yaitu *Monocrystalline*, *Polycrystalline*, dan *Thin solar panel*. Tipe *Monocrystalline* dan *Polycrystalline* memiliki kelebihan di efisiensi dan daya keluaran yang lebih tinggi namun memiliki kekurangan distruktur yang tebal dan kaku.

Tipe *thin* memiliki kelebihan distrukturnya yang lentur dan jauh lebih tipis namun kekurangan efisiensi dan daya keluaran yang rendah. Dalam penelitian (Puriza, Yandi and Asmar, 2021) daya yang dihasilkan oleh *thin solar panel* tidak sesuai nameplate. Oleh karena itu masyarakat belum banyak menggunakan jenis *thin* karena efisiensinya yang rendah. *Thin solar panel* diharapkan dapat meningkatkan daya keluaran karena memiliki kelebihan struktur yang lebih tipis, lentur dan bobot yang ringan sehingga dapat digunakan oleh masyarakat untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik di rumah dan lampu jalan dan kendaraan listrik (Puriza, Yandi and Asmar, 2021). Selanjutnya *thin solar panel* dapat meningkatkan efisiensi dan dapat memaksimalkan daya keluarannya.

Dilihat dari penjelasan tersebut, saat ini *thin solar panel* belum dapat mencapai daya keluaran sesuai spesifikasi dibandingkan tipe *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*. Hal ini disebabkan adanya pengaruh suhu dan perbedaan bahan pada ketiga jenis sel surya ini. Selanjutnya terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan, dalam penelitian (Yuliananda, Sarya dan Retno Hastijanti, 2015) bahwa temperatur sel, radiasi matahari, keadaan atmosfer dan letak sel surya dapat mempengaruhi hasil pengoprasian. Kemudian (Fakhira, Sudarti dan Yushardi, 2023) dan (Duanaputri *et al.*, 2023) melakukan percobaan menggunakan tipe *polycrystalline* 100wp yang menghasilkan daya maksimal 80 watt pada kondisi intensitas cahaya matahari optimal, dan pada tipe *monocrystalline* 100 wp menghasilkan daya maksimal sebesar 81,77 Watt pada kondisi intensitas cahaya matahari yang optimal. Menurut (Darwin, Panjaitan dan Suwarno, 2020) keadaan suhu berpengaruh pada tegangan maksimal, saat suhu 27°C di dapat tegangan maksimalnya 19,35V dan pada suhu 54°C tegangan maksimalnya 17,77 V. Pada penelitian *thin solar panel* yang dilakukan oleh (Ramadhan *et al.*, 2023) saat cuaca cerah panel surya tipis berkapasitas 100 wp hanya mendapatkan daya tertinggi sebesar 15,60 watt. Efisiensi panel tipis belum sebaik panel tipe *polycrystalline* atau *monocrystalline* yaitu sekitar 6%-12% (Nurdiansyah, Dewi dan Putra, 2022). Oleh karena itu peningkatan suhu pada permukaan *thin solar panel* berpengaruh pada daya tegangan keluaran dapat menurun (Karakilic, Karafil and Genc, 2022). Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian penambahan lapisan struktur dan perubahan susunan sel surya pada *thin solar panel* untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan dan penyebab rendahnya efisiensi. Pengujian dilakukan pada kondisi standar (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C). Dengan adanya pengujian ini maka akan diperoleh informasi tentang cara memaksimalkan daya keluaran pada *thin solar panel*.

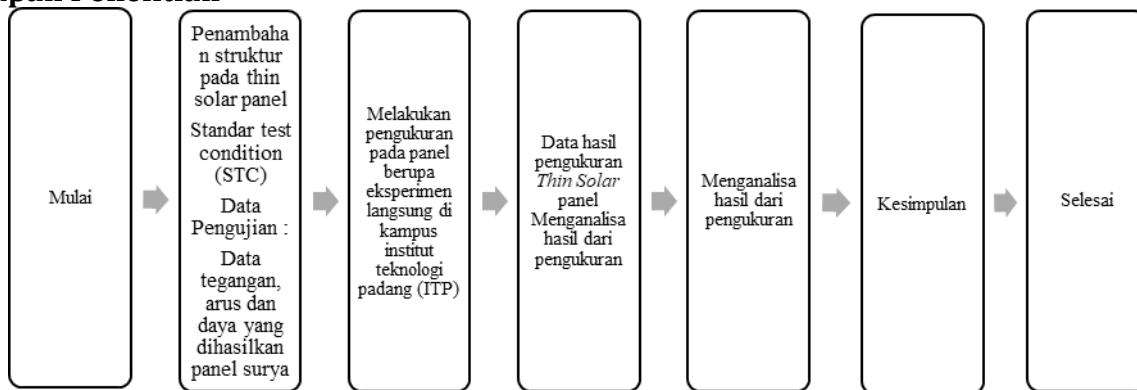
Berdasarkan latar belakang masalah, maka identifikasi permasalahan dirumuskan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Bagaimana mengoptimalkan daya keluaran *thin solar panel*? Apakah penambahan struktur dan perubahan susunan sel surya dapat meningkatkan efisiensi dari *thin solar panel*? Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini yaitu: Untuk mengetahui cara menaikkan efisiensi dari *thin solar panel*. Mengetahui penyebab kecilnya daya keluaran pada *thin solar panel*. Agar penelitian ini tidak terlalu luas dan tidak menyimpang dari rumusan masalah diatas, maka perlu adanya pembatasan masalah yang ditinjau. Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: Dalam penelitian ini panel yg akan di gunakan hanya panel thin. Variabel yang diukur (P, V, I, N) Pengujian dilakukan dalam kondisi standar. Metode pengujian langsung. Keuntungan yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah dapat mengetahui bagaimana *thin solar panel* berkapasitas 100 wp dapat meningkatkan efisiensi diatas 6%-12% dan meningkatkan daya keluaran diatas 15,60 watt.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian dilakukan pada sebuah panel dengan tipe *Thin solar panel*, untuk mengetahui produktivitas listrik yang di hasilkan dalam kondisi pengujian standar. Dalam pengujian

dilakukan pengukuran pada rangkaian yang terdiri dari satu *Thin solar panel* yang terhubung dengan alat ukur tegangan dan arus menggunakan multimeter. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan metode eksperimen dengan menambahkan lapisan dan perubahan susunan sel surya pada struktur *Thin solar panel*. Pengujian akan dilakukan pada kondisi standar yang sesuai dengan  $1000 \text{ W/m}^2$   $25^\circ\text{C}$ , massa udara 1,5 dan kejadian normal, pada *Thin solar panel* berkapasitas 100 wp untuk mengetahui energi maksimum, dan arus yang dihasilkan. Dalam penelitian ini digunakan *thin solar panel* untuk di analisis kinerja daya listrik yang dihasilkan. Melalui pengukuran variabel tegangan-arus (V-I) yang dihasilkan oleh panel surya. Dari variabel yang telah diukur nantinya akan dilihat daya keluaran listrik yang dihasilkan oleh panel tersebut. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran untuk melengkapi data-data yang dibutuhkan dalam analisis kinerja *thin solar panel* 100 wp untuk meningkatkan daya keluaran, maka sebagai lokasi penelitian untuk pengambilan variabel yang dibutuhkan seperti pengukuran tegangan, arus, daya, yang dihasilkan oleh panel surya tipe *thin solar panel*, yang dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Institut Teknologi Padang Jl. Gajah Mada Kandis Nangalo Padang. Data-data yang akan diperlukan pada penelitian ini. Spesifikasi *thin solar panel*. Kondisi pengujian. Spesifikasi tegangan keluaran. Data tegangan, arus dan daya keluaran yang dihasilkan.

### Tahapan Penelitian



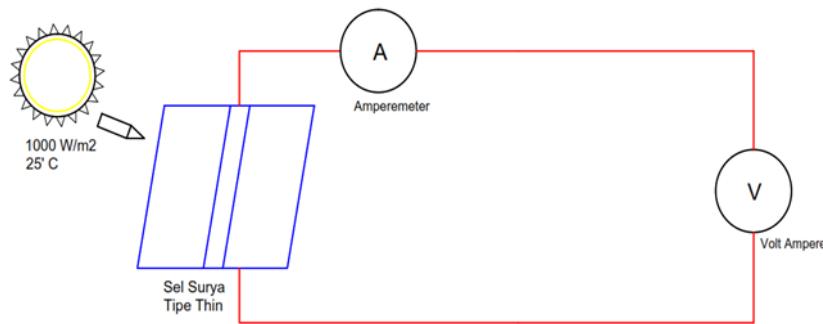
**Gambar 1. Diagram alir Penelitian**

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, dimulai dari mencari studi literatur sebagai referensi. Kemudian melakukan perakitan rangkaian yang akan di uji dalam penelitian. Selanjutnya melakukan pengukuran tegangan, arus, suhu dan intensitas dari *Thin solar panel* untuk mengetahui produktivitas listrik yang dihasilkan.

1. Pengukuran. Pengukuran yang dilakukan yaitu tegangan, arus dan daya yang dihasilkan panel surya.
2. Pengolahan Data. Setelah melakukan pengukuran rangkaian maka hal selanjutnya yaitu melakukan pengolahan data yang akan di analisis.
3. Analisis Data. Setelah data didapat dengan melakukan pengujian, maka selanjutnya melakukan analisis data tersebut guna untuk mendapatkan berapa besar daya yang dihasilkan berdasarkan kondisi saat pengukuran dan berapa efisien thin panel surya dapat menghasilkan keluaran daya.
4. Pelaporan. Setelah pengukuran, pengolahan data dan analisis data dilakukan, selanjutnya membuat pelaporan untuk hasil yang dapatkan.

### Metode Pengukuran

#### Rangkaian pengukuran



**Gambar 2. Rangkaian Pengujian**

Dalam penelitian ini di gunakan rangkaian pengujian yang di tunjukan pada gambar 3.2 yang merupakan rangkaian pengukuran yang terdiri dari *Thin solar panel*. Rangkaian dibuat untuk membantu proses pengumpulan data tegangan dan arus yang akan digunakan dalam pengujian. Dua alat ukur, multimeter, dipasang untuk mengukur tegangan dan arus. Rangkaian yang menggunakan jenis *Thin Solar panel* dengan spesifikasi tegangan keluaran 19 volt – 25 volt. Pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan menggunakan multimeter, juga di lakukan pengukuran terhadap intensitas menggunakan *lux* meter. Standar Internasional IEC 61215 menetapkan  $\lambda_{ref}$  dan  $T_{ref}$  untuk pengukuran *current short circuit* ( $I_{sc}$ ) dan *voltage open circuit* ( $V_{oc}$ ), yang diukur pada kondisi radiasi  $\lambda_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$  dan  $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ . Secara teori, intensitas cahaya dalam lux dapat diubah menjadi  $\text{W/m}^2$ . Berdasarkan hal ini,  $1000 \text{ W/m}^2$  sama dengan  $120.000 \text{ lux}$ , atau  $1 \text{ W/m}^2 = 119,97 \text{ lux}$ .

### **Variabel pengukuran**

Dalam penelitian ini terdapat variabel pengukuran arus, tegangan, daya, intensitas cahaya dan temperatur.

### **Alat pengukuran**

1. Mengukur intensitas matahari menggunakan Seaward *Solar Survey 200R*
2. Mengukur suhu menggunakan Seaward *Solar Survey 200R*.
3. Mengukur tegangan dan arus menggunakan Seaward PV150

### **Cara kerja alat pengukuran Seaward PV150 dan Seaward *Solar Survey 200R***

1. Siapkan PV150:
  - a. Pastikan baterai PV150 terisi penuh atau memiliki daya yang cukup. Simbol baterai akan muncul di layar jika daya rendah.
  - b. Nyalakan PV150 dengan menekan dan menahan tombol *Rpe* dan *auto* secara bersamaan.
2. Persiapan Sistem Panel Surya:
  - a. Penting: Pastikan panel surya atau *string* PV yang akan diuji terputus dari beban atau *inverter (open circuit)* untuk pengukuran  $V_{oc}$ .
  - b. Untuk pengukuran  $I_{sc}$ , sirkuit panel surya harus dibuat *short circuit* (hubung singkat). Namun, dengan Seaward PV150, Anda tidak perlu secara manual membuat *short circuit*; alat ini akan melakukannya secara internal untuk tujuan pengukuran  $I_{sc}$ .
3. Hubungkan Kabel Uji:
  - a. Hubungkan kabel uji berwarna merah dan hitam ke terminal input PV (biasanya ditandai dengan simbol PV atau nomor 8 & 9 seperti pada diagram manual) pada Seaward PV150.
  - b. Sambungkan ujung kabel uji yang lain ke konektor MC4 pada *string* panel surya Anda. Pastikan koneksi kuat dan benar polaritasnya (merah ke positif, hitam ke negatif).

4. Mulai Pengukuran *Auto Sequence*:
  - a. Setelah semua kabel terhubung dengan benar dan aman, tekan tombol *Auto* pada PV150.
  - b. PV150 akan secara otomatis melakukan urutan pengujian:
    - 1) Pertama, ia akan mengukur  $V_{oc}$  (*Open Circuit Voltage*).
    - 2) Kemudian, ia akan mengukur  $I_{sc}$  (*Short Circuit Current*).
    - 3) (Secara opsional, jika dikonfigurasi, ia juga akan melakukan pengukuran Resistansi Isolasi).
5. Baca Hasil:
  - a. Setelah pengujian selesai (biasanya dalam waktu singkat, sekitar 50 detik untuk ketiga pengujian), hasil  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  akan ditampilkan di layar PV150.
  - b. Layar akan menunjukkan nilai  $V_{oc}$  dalam volt DC dan  $I_{sc}$  dalam ampere DC.
6. Simpan Hasil (Opsional): Untuk menyimpan hasil, tekan tombol *Store*. Hasil akan disimpan ke memori internal PV150.
7. Putuskan Sambungan: Setelah selesai mengukur dan menyimpan data, selalu putuskan semua kabel uji segera dari PV150 dan dari sistem panel surya.

#### **Siapkan Seaward *Solar Survey 200R*:**

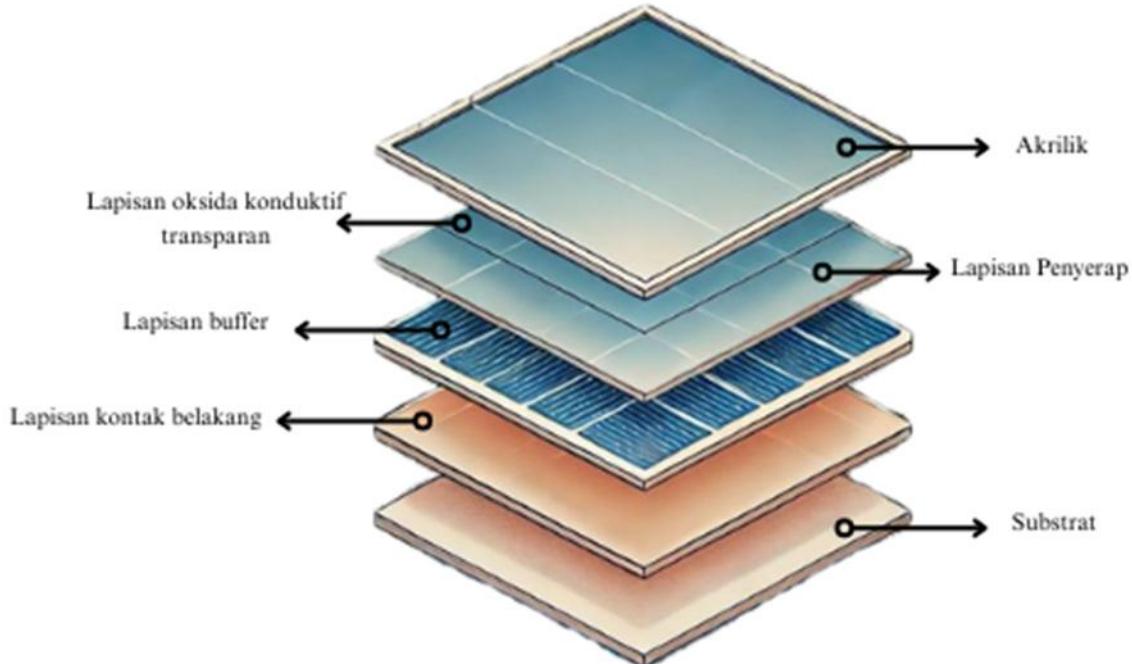
1. Hidupkan Alat
2. Tekan dan tahan tombol *ON/OFF* hingga layar menyala.
3. Pilih Mode Pengukuran (jika diperlukan):
  - a. Secara default, alat ini mungkin akan menampilkan iradiasi. Jika tidak, tekan tombol *MODE* berulang kali hingga Anda melihat tampilan iradiasi (biasanya dalam  $W/m^2$ ).
  - b. Tekan tombol *MODE* lagi untuk beralih ke tampilan suhu sekitar (*Ambient Temp*).
  - c. Tekan tombol *MODE* sekali lagi untuk tampilan suhu modul (*Module Temp*).
  - d. Anda juga bisa beralih ke mode kompas (arah) dan *inclinometer* (kemiringan) jika diperlukan, tetapi fokus kita di sini adalah iradiasi dan suhu.
4. Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari (Iradiasi):
  - a. Posisikan *Solar Survey 200R*: Ini adalah langkah paling krusial. Sensor iradiasi pada *Solar Survey 200R* harus dihadapkan dan diorientasikan tepat sama dengan panel surya yang akan Anda ukur.
  - b. Untuk Atap Miring/Panel Terpasang : Letakkan *Solar Survey 200R* di atas panel surya atau di permukaan yang memiliki kemiringan dan orientasi yang persis sama dengan panel. Pastikan sensor iradiasi (bagian bening di bagian atas alat) tidak terhalangi oleh bayangan atau tangan anda.
  - c. Untuk Area Datar : Jika Anda ingin mengukur iradiasi global horizontal, letakkan alat di permukaan datar dan pastikan sensor menghadap lurus ke atas.
  - d. Baca Hasil: Nilai iradiasi akan langsung ditampilkan di layar dalam  $W/m^2$ . Alat akan terus memperbarui pembacaan secara *real-time*. Catatan: Pastikan tidak ada bayangan yang jatuh pada sensor *Solar Survey 200R* saat pengukuran dilakukan, karena ini akan sangat memengaruhi akurasi pembacaan.
5. Pengukuran Suhu Permukaan Panel (Suhu Modul):
  - a. Hubungkan *Probe* Suhu: Ambil probe suhu hisap (*suction mount temperature probe*) yang disertakan dengan *Solar Survey 200R*. Sambungkan ujung kabel probe ke soket yang sesuai pada alat.
  - b. Tempelkan *Probe* ke Panel: Tempelkan probe hisap dengan kuat ke bagian belakang permukaan panel surya. Pilih area yang representatif, sebaiknya di tengah panel dan di tempat yang tidak terkena bayangan dari rangka atau kabel. Pastikan kontak antara *probe* dan panel baik untuk transfer panas yang akurat.

- c. Pilih mode Suhu Modul : Tekan tombol MODE pada *Solar Survey 200R* hingga layar menampilkan "*Module Temp*" atau "*Mod Temp*".
- d. Baca Hasil: Suhu permukaan panel akan ditampilkan di layar dalam derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ) atau Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Biarkan beberapa detik agar pembacaan stabil.
6. Penyimpanan Data (opsional):
  - a. Setelah anda mendapatkan pembacaan yang stabil untuk iradiasi dan suhu modul, anda dapat menyimpan data tersebut.
  - b. Tekan tombol *MEASURE/SAVE*. Layar akan menunjukkan lokasi memori tempat data disimpan.
  - c. Manfaat penyimpanan : Data yang disimpan dapat diunduh ke PC nanti menggunakan perangkat lunak Seaward untuk analisis dan pelaporan yang lebih mendalam, terutama jika anda menggunakan *Solar Survey 200R* bersama dengan PV150.
7. Putuskan Sambungan dan Matikan Alat:
  - a. Setelah selesai mengukur, lepaskan *probe* suhu dari panel dan cabut dari alat.
  - b. Tekan dan tahan tombol *ON/OFF* untuk mematikan *Solar Survey 200R*.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Deskripsi Penelitian

Hasil pengujian yang diperoleh dalam pelaksanaan tugas akhir ini yaitu tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya tipis. Pengujian ini dilakukan dengan menambahkan suatu struktur pada permukaan panel untuk mengetahui pengaruhnya terhadap daya keluaran. Ilustrasi mengenai bentuk dan posisi penambahan struktur tersebut pada panel dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Ilustrasi Penambahan Struktur Panel Surya**

Pada pengujian ini menggunakan *thin solar panel* dengan penambahan struktur menggunakan akrilik dibagian terluar *thin solar panel*, adapun akrilik yang digunakan terdiri dari 3 jenis ketebalan akrilik yaitu 1.5 mm, 2 mm dan 3 mm. Pengujian pertama dilakukan dengan metode STC dengan kondisi  $\lambda_{\text{ref}} = 1000 \text{ W/m}^2$  dan  $T_{\text{ref}} = 25^{\circ}\text{C}$ . Namun pada pengujian ini, hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan Standar Test Condition IEC 61215. Hal ini

disebabkan karena lampu yang kurang optimal dan kondisi ruangan yang kurang memadai. Sehingga pengujian dilanjutkan menggunakan kondisi  $\lambda_{ref} = 484 \text{ W/m}^2$  dan  $T_{ref} = 56,25^\circ\text{C}$ . dari kondisi yang didapat panel 100 WP menghasilkan 48,4 W. Pengujian kedua menggunakan penambahan akrilik dibagian terluar dari *thin solar panel* menggunakan cahaya matahari langsung dan pengujian ketiga menggunakan panel jenis *polycrystalline* dengan kondisi  $\lambda_{ref} = 484 \text{ W/m}^2$  dan  $T_{ref} = 56,25^\circ\text{C}$ . Adanya beberapa perbedaan cara pengujian ini sebagai data perbandingan pengaruh penambahan akrilik pada *thin solar panel* dan panel *polycrystalline*. Ketiga pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali pengulangan. Dalam pengujian ini dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan dari panel, dengan tujuan mengetahui perbedaan daya keluaran dikarenakan adanya perubahan struktur menggunakan perbedaan jenis ketebalan akrilik saat pengujian berlangsung.

## **Data Hasil Pengujian**

Pengujian ini menggunakan Seaward PV 150 *multifunction solar PV tester* untuk mendapatkan hasil tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh *thin solar panel*. Pengukuran ini menggunakan 3 jenis ketebalan akrilik dan menggunakan cahaya lampu sebagai pengganti cahaya matahari dengan kondisi  $\lambda_{ref} = 484 \text{ W/m}^2$  dan  $T_{ref} = 56,25^\circ\text{C}$ . Dalam pengujian ini terdapat ulangan 1 ( $U_1$ ) dan ulangan 2 ( $U_2$ ), ulangan ini dilakukan sebagai perbandingan data akrilik. Selanjutnya pengukuran dilakukan dimulai dari jam 9.00 – 10.00 pagi untuk pengukuran akrilik ketebalan 1,5 mm, dilanjutkan pengukuran menggunakan akrilik ketebalan 2 mm pada jam 10.00 WIB – 11.00 WIB dan pengukuran menggunakan akrilik ketebalan 3 mm pada jam 11.00 WIB – 12.00 WIB setelah mendapat data untuk ulangan 1 ( $U_1$ ) dilakukan ulangan 2 ( $U_2$ ) dimulai pada jam 12.00 WIB – 13.00 WIB menggunakan akrilik ketebalan 1,5 mm, dilanjutkan pada jam 13.00 WIB – 14.00 WIB untuk pengukuran menggunakan akrilik ketebalan 2 mm dan pengukuran menggunakan akrilik dengan ketebalan 3 mm pada jam 14.00 WIB – 15.00 WIB. Lalu untuk pengujian menggunakan cahaya matahari langsung dilakukan di siang hari pada jam 13.00 WIB – 14.00 WIB.

Pengujian pengaruh ketebalan akrilik terhadap performa *thin solar panel* menunjukkan perbedaan pada tegangan yang dihasilkan. Pada pengujian pertama dengan ketebalan akrilik 1,5 mm, ulangan pertama panel menghasilkan tegangan sebesar 19,9 V angka ini sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian pengulangan kedua yaitu 19,3 V. Selanjutnya menggunakan akrilik ketebalan 2 mm, *thin solar panel* menunjukkan kenaikan tegangan. Pada pengujian ulangan pertama tegangan yang dihasilkan adalah 20,9 V. Pada pengulangan kedua tegangan sedikit menurun menjadi 20,6 V. Pada saat menggunakan tambahan akrilik ketebalan 3 mm *thin solar panel* menghasilkan tegangan tertinggi diantara semua variasi yang di uji sebelumnya yaitu akrilik 1 mm dan 2 mm. Pada pengulangan pertama *thin solar panel* mencapai tegangan 22,3 V, lalu pada pengulangan kedua tegangan yang dihasilkan menurun menjadi 21,2 V. Dari hasil terbaik yang didapatkan pada pengujian pertama ini diketahui perbedaan yang diperoleh akrilik ketebalan 1,5 mm dan ketebalan 3 mm dapat menaikkan tegangan sebesar 3 V.

Pengujian pengaruh ketebalan akrilik terhadap *thin solar panel* menunjukkan perbedaan pada daya yang dihasilkan. Pada pengujian pertama dengan ketebalan akrilik 1,5 mm, ulangan pertama panel menghasilkan daya sebesar 0,19 W dan pada ulangan kedua menghasilkan nilai daya yang sama yaitu sebesar 0,19 W. Penggunaan akrilik dengan ketebalan 2 mm menghasilkan daya sebesar 0,20 W pada pengulangan pertama dan 0,20 W pada pengulangan kedua dengan hasil yang sama. Selanjutnya, akrilik dengan ketebalan 3 mm pada pengulangan pertama menghasilkan nilai daya sebesar 0,22 W yang sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai daya pada pengulangan kedua yaitu 0,21 W. Ketebalan akrilik yang digunakan yaitu 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm menghasilkan perbedaan nilai daya yang tidak signifikan. Berdasarkan

pengujian yang telah dilakukan diperoleh rata-rata tegangan yaitu 20,15 V dan daya 0,20 W. Perbandingan suhu pada *thin solar panel* menggunakan cahaya lampu, dimana penggunaan akrilik 1,5 mm menghasilkan suhu permukaan panel 57°C pada pengulangan pertama (U<sub>1</sub>) dan 59°C pada pengulangan kedua (U<sub>2</sub>). Pada penggunaan akrilik 2 mm menghasilkan suhu permukaan panel 56°C pada pengulangan pertama (U<sub>1</sub>) dan 57°C pada pengulangan kedua (U<sub>2</sub>). Akrilik 3 mm menghasilkan suhu permukaan panel 56°C pada pengulangan pertama (U<sub>1</sub>) dan 57°C pada pengulangan kedua (U<sub>2</sub>).

Pengujian kedua yang dilakukan langsung dibawah cahaya matahari menghasilkan pengaruh pada perbedaan ketebalan akrilik terhadap daya dan tegangan *thin solar panel*. Pengujian ini menggunakan tiga ketebalan akrilik yaitu 1,5 mm, 2 mm dan 3 mm, masing-masing dilakukan dengan dua kali pengulangan. Pada pengukuran pertama dengan ketebalan akrilik 1,5 mm, pengulangan pertama *thin solar panel* menghasilkan tegangan sebesar 23,1 V dan daya sebesar 0,231 W. Pada pengulangan kedua adanya kenaikan pada tegangan dan daya yang dihasilkan yaitu tegangan mencapai 23,7 V dan daya menjadi 0,237 W. Selanjutnya, dengan ketebalan akrilik 2 mm, *thin solar panel* pada pengulangan pertama menghasilkan tegangan 23,2 V dan daya 0,232 W. Namun pada pengulangan kedua terjadi peningkatan dengan tegangan 24,7 V dan daya menjadi 0,741 W. Peningkatan terlihat pada akrilik dengan ketebalan 3 mm. Pada ketebalan ini pengulangan pertama panel memperoleh nilai tegangan sebesar 25,5 V dan daya 0,255. Kemudian pada pengulangan kedua dengan ketebalan akrilik 3 mm menghasilkan tegangan 25,7 V dan daya 0,771 W. Dari hasil terbaik yang didapatkan pada pengujian kedua ini diketahui perbedaan yang diperoleh akrilik ketebalan 1,5 mm dan ketebalan 3 mm dapat menaikkan tegangan sebesar 2 V dan daya sebesar 0,534 W.

## Pembahasan

Berdasarkan data yang didapat dari pengukuran yang dilakukan mulai dari jam 09.00 – 15.00 menggunakan 3 akrilik dengan perbedaan ketebalan dan dilakukan 2 kali ulangan. Pengujian ini terdapat 2 perlakuan yang berbeda, perlakuan pertama menggunakan cahaya lampu sebagai pengganti cahaya matahari dan perlakuan kedua menggunakan cahaya matahari langsung. Hal ini bertujuan agar adanya data perbandingan antara intensitas dan suhu permukaan yang diterima sel surya berbeda. Pengujian pertama dilakukan menggunakan akrilik dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan cahaya lampu sebagai pengganti cahaya matahari. Pengujian kedua dilakukan menggunakan akrilik dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan cahaya matahari langsung. Pengujian ketiga dilakukan menggunakan akrilik jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 1,5 mm, 2 mm, dan 3 mm menggunakan cahaya lampu sebagai pengganti cahaya matahari. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa pengujian menggunakan akrilik dengan ketebalan 1,5 mm yang dilakukan dengan bantuan cahaya lampu sebagai pengganti sinar matahari menunjukkan hasil tegangan yang berbeda antara dua kali pengulangan. Pada ulangan pertama, tegangan yang dihasilkan mencapai 19,9 V, yang merupakan nilai tertinggi untuk ketebalan tersebut. Namun, pada ulangan kedua, terjadi sedikit penurunan nilai tegangan menjadi 19,3 V. Selanjutnya, pada akrilik dengan ketebalan 2 mm, tegangan yang dihasilkan pada ulangan pertama juga menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dengan nilai sebesar 20,9 V. Sedangkan pada ulangan kedua menghasilkan nilai tegangan yang lebih rendah yaitu sebesar 20,6 V. Pada penggunaan akrilik dengan ketebalan 3 mm, tegangan yang dihasilkan pada ulangan pertama sebesar 22,3 V, yang merupakan nilai tertinggi diantara semua ketebalan yang diuji. Namun, pada ulangan kedua nilai tegangan yang dihasilkan menurun menjadi 21,2 V. Kenaikan nilai tegangan dari pengujian yang telah dilakukan memperoleh selisih kurang lebih 1 V sampai 2 V pada setiap akrilik yang digunakan. Selisih nilai tegangan pada akrilik 3 mm dan 1,5 mm yaitu sebesar 3 V.

Sehingga dapat diamati bahwa semakin besar ketebalan akrilik yang digunakan, semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan, baik pada ulangan pertama maupun ulangan kedua.

Pada Tabel 4.2 menjelaskan bahwa pengukuran pertama menggunakan akrilik ketebalan 1,5 mm dengan Cahaya lampu sebagai pengganti Cahaya matahari menghasilkan nilai daya 0,19 W pada ulangan pertama dan 0,19 W pada ulangan kedua. Kedua ulangan yang dilakukan memperoleh nilai daya yang sama. Akrilik dengan ketebalan 2 mm dengan Cahaya lampu sebagai pengganti Cahaya matahari menghasilkan nilai daya sebesar 0,20 W pada ulangan pertama, ulangan kedua pada pengujian yang sama memperoleh hasil yang sama yaitu 0,20 W. Berbeda dengan akrilik ketebalan 3 mm yang menghasilkan nilai daya berbeda pada kedua ulangan yang dilakukan. Ulangan pertama pengukuran menggunakan akrilik ketebalan 3 mm menghasilkan nilai daya sebesar 0,22 W dan nilai yang dihasilkan pada ulangan kedua mengalami sedikit penurunan yaitu 0,21 W. Perbedaan nilai daya pada setiap ketebalan akrilik yang digunakan tidak mengalami perbedaan nilai yang signifikan. Namun semakin tebal akrilik yang digunakan, nilai daya memperoleh kenaikan daya. Pada Tabel 4.2 menjelaskan bahwa pengukuran pertama menggunakan akrilik berukuran 1,5 mm pada Cahaya lampu sebagai pengganti Cahaya matahari pada ulangan pertama memperoleh suhu 57°C sedangkan pada ulangan kedua memperoleh suhu 59°C. Akrilik dengan ketebalan 2 mm pada ulangan pertama diperoleh suhu 56°C sedangkan pada ulangan kedua memperoleh suhu 57°C. Akrilik ketebalan 3 mm memperoleh suhu 56°C sedangkan pada ulangan kedua memperoleh suhu 57°C. Perbedaan suhu yang diterima oleh permukaan panel dapat mempengaruhi nilai dari tegangan yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan literatur (Darwin, Panjaitan and Suwarno, 2020) yang menjelaskan bahwa semakin rendah suhu pada permukaan panel ketika pengukuran berlangsung menghasilkan nilai tegangan yang lebih baik.

Pada tabel 4.4 menjelaskan bahwa pengukuran pengulangan pertama menggunakan akrilik ketebalan 1,5 mm dengan menggunakan Cahaya matahari menghasilkan nilai tegangan yang lebih rendah yaitu 23,1 V dari pengulangan kedua yang menghasilkan tegangan 23,7 V. Pengukuran pengulangan pertama menggunakan akrilik ketebalan 2 mm dengan menggunakan Cahaya matahari juga menghasilkan nilai tegangan yang lebih rendah yaitu 23,2 V sedangkan pengulangan kedua menghasilkan nilai tegangan yang lebih baik yaitu 24,7 V. Sama halnya dengan pengukuran pengulangan pertama menggunakan akrilik ketebalan 3 mm dengan menggunakan Cahaya matahari juga menghasilkan nilai tegangan yang lebih rendah yaitu 25,5 V sedangkan pada pengulangan kedua menghasilkan nilai tegangan yang lebih baik yaitu 25,7 V. Literatur (Usman, 2020) menjelaskan bahwa tegangan listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh intensitas Cahaya matahari. Hal ini seperti arus dan tegangan semakin besar intensitas Cahaya yang diterima oleh *thin solar panel* maka semakin besar pula tegangan dan arus yang dihasilkan. Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran *thin solar panel* dengan Cahaya matahari langsung memperoleh nilai daya yang dipengaruhi akrilik. Akrilik dengan ketebalan 1,5 mm menggunakan Cahaya matahari langsung menghasilkan nilai daya sebesar 0,231 W pada ulangan pertama dan 0,237 W pada ulangan kedua. Akrilik dengan ketebalan 2 mm menggunakan Cahaya matahari langsung menghasilkan nilai daya pada ulangan pertama sebesar 0,232 W, sedangkan pada ulangan kedua menghasilkan nilai daya sebesar 0,741 W yaitu lebih tinggi dibandingkan nilai daya pada ulangan pertama. Akrilik dengan ketebalan 3 mm dengan menggunakan Cahaya matahari langsung menghasilkan nilai daya sebesar 0,255 W pada ulangan pertama dan 0,771 W pada ulangan kedua. Daya yang dihasilkan pada pengulangan kedua memperoleh nilai daya yang lebih tinggi dibandingkan nilai daya pada ulangan pertama. Dalam pengujian ini diperoleh bahwa ketebalan akrilik mempengaruhi nilai daya yang dihasilkan, dimana daya yang dihasilkan mengalami kenaikan.

Literatur (Harie Satiyadi, Muhamad Hudan and Asrori, 2024) menjelaskan bahwa radiasi matahari yang jatuh ke permukaan akan mempengaruhi daya keluaran panel. Dimana peningkatan daya keluaran oleh panel akan meningkat berbanding lurus dengan arus keluaran serta pancaran sinar matahari. Hal ini dikarenakan arus keluaran yang dihasilkan dari panel berbanding lurus dengan radiasi matahari. Total produksi dari arus keluaran yang tinggi dan tegangan keluaran yang rendah akan menyebabkan daya keluaran yang dihasilkan tidak efisien. Pada tabel 4.4 menjelaskan bahwa pengukuran pengulangan pertama menggunakan akrilik ketebalan 1,5 mm dengan menggunakan cahaya matahari memperoleh nilai intensitas yang lebih rendah yaitu  $607 \text{ W/m}^2$  dari pengulangan kedua yang memperoleh nilai intensitas yaitu  $620 \text{ W/m}^2$ . Pengukuran pengulangan pertama menggunakan akrilik ketebalan 2 mm dengan menggunakan cahaya matahari juga memperoleh nilai intensitas yang lebih rendah yaitu  $779 \text{ W/m}^2$  sedangkan pengulangan kedua memperoleh nilai intensitas yang lebih baik yaitu  $939 \text{ W/m}^2$ . Sama halnya dengan pengukuran pengulangan pertama menggunakan akrilik ketebalan 3 mm dengan menggunakan cahaya matahari juga memperoleh nilai intensitas yang lebih rendah yaitu  $784 \text{ W/m}^2$  sedangkan pada pengulangan kedua memperoleh nilai intensitas yang lebih baik yaitu  $947 \text{ W/m}^2$ . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh bahwa intensitas yang lebih tinggi menghasilkan tegangan yang lebih baik. Hal ini sesuai dengan literatur (Yuliananda, Sarya and Retno Hastijanti, 2015) yang menjelaskan bahwa intensitas akan mempengaruhi nilai tegangan dan daya, dimana pengaruh intensitas berbanding lurus dengan nilai tegangan dan daya. Kenaikan intensitas akan menghasilkan nilai tegangan dan daya yang lebih baik.

Namun literatur (Syah, Asri and Bintoro, 2022) menjelaskan bahwa besarnya intensitas yang diterima tidak hanya bergantung kepada daya listrik yang dihasilkan oleh panel. Namun suhu permukaan panel juga dapat menurunkan besarnya tegangan listrik. Suhu permukaan pada panel surya mengalami perubahan yang disebabkan oleh suhu lingkungan sekitar. Jika semakin tinggi nilai suhu permukaan pada panel yang digunakan maka daya keluaran mengalami penurunan dan nilai intensitas semakin tinggi maka nilai daya yang dihasilkan oleh panel juga semakin besar. Pada Tabel 4.4 menjelaskan bahwa pengukuran pertama menggunakan akrilik berukuran 1,5 mm pada cahaya matahari pada ulangan pertama memperoleh suhu  $48^\circ\text{C}$  sedangkan pada ulangan kedua memperoleh suhu  $47^\circ\text{C}$ . Akrilik dengan ketebalan 2 mm pada ulangan pertama diperoleh suhu  $46^\circ\text{C}$  sedangkan pada ulangan kedua memperoleh suhu  $42^\circ\text{C}$ . Akrilik ketebalan 3 mm memperoleh suhu  $45^\circ\text{C}$  sedangkan pada ulangan kedua memperoleh suhu  $41^\circ\text{C}$ . Perbedaan suhu yang diterima oleh permukaan panel dapat mempengaruhi nilai dari tegangan yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan literatur (Darwin, Panjaitan and Suwarno, 2020) yang menjelaskan bahwa semakin rendah suhu pada permukaan panel ketika pengukuran berlangsung menghasilkan nilai tegangan yang lebih baik. (Harie Satiyadi, Muhamad Hudan and Asrori, 2024) menjelaskan bahwa potensi suhu lingkungan dalam satu hari umumnya bergantung pada variasi intensitas penyinaran matahari. Pancaran sinar matahari yang berlimpah pada suatu daerah akan berpotensi tinggi dalam pengembangan sistem surya untuk menghasilkan keluaran yang maksimal. Listrik mengalir melalui rangkaian listrik dengan mengubah kecepatan gerak elektron dipengaruhi oleh suhu.

Tabel 4.7 menjelaskan bahwa pengujian pertama dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 1,5 mm menghasilkan tegangan yang lebih baik yaitu 17,9 V pada ulangan pertama, sedangkan pada pengulangan kedua dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* ketebalan yang sama menghasilkan nilai tegangan 17,6 V. Pada pengulangan pertama dan kedua dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 2 mm menghasilkan nilai tegangan yang sama yaitu 18,0 V. Pada pengulangan pertama dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 3 mm menghasilkan nilai

tegangan yang lebih rendah yaitu 18,1 V, sedangkan pada pengulangan kedua dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 3 mm menghasilkan nilai tegangan yang lebih baik yaitu 18,4 V. Ketebalan akrilik yang digunakan mempengaruhi nilai tegangan yang dihasilkan, dimana nilai tegangan yang dihasilkan mengalami kenaikan namun tidak signifikan. Selisih antara tegangan yang dihasilkan menggunakan ketebalan akrilik 3 mm dan 1,5 mm yaitu 0,2 V pada ulangan pertama dan 0,8 V pada ulangan kedua. Tabel 4.7 menjelaskan bahwa hasil pengukuran akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 1,5 mm menghasilkan nilai daya sebesar 29,3 W pada ulangan pertama dan 30,4 W pada ulangan kedua. Selanjutnya akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 2 mm menghasilkan nilai daya 29,5 W pada ulangan pertama, sedangkan pada ulangan kedua menghasilkan nilai daya sebesar 30,3 W. Akrilik jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 3 mm pada pengulangan pertama menghasilkan nilai daya sebesar 30,9 W. Namun pada pengulangan kedua menghasilkan nilai daya yang lebih tinggi yaitu sebesar 31,6 W. Nilai daya yang dihasilkan pada pengujian ini mengalami kenaikan nilai daya seiring bertambahnya ketebalan akrilik jenis *polycrystalline* yang digunakan.

Tabel 4.7 menjelaskan bahwa pengukuran pertama dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 1,5 mm memperoleh suhu 57°C pada ulangan pertama, sedangkan pada ulangan kedua dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* memperoleh suhu 60°C. Pada pengulangan pertama dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 2 mm memperoleh suhu 55°C dan pengulangan kedua menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* memperoleh suhu 54°C. Pada pengulangan pertama dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 3 mm memperoleh suhu 54°C, sedangkan pada pengulangan kedua dengan menggunakan akrilik pada jenis *polycrystalline* dengan ketebalan 3 mm memperoleh suhu 53°C. Suhu yang dihasilkan pada pengujian ini mengalami penurunan suhu, Dimana penurunan suhu menghasilkan daya keluaran yang lebih baik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Sohani *et al.*, 2021) yang menjelaskan bahwa penurunan suhu dapat menghasilkan daya keluaran yang lebih baik. (Ramadhan *et al.*, 2023) melakukan pengujian pada *thin solar panel* menggunakan sinar matahari langsung didapat daya keluaran terbesar 15,60 W sedangkan pada pengujian ini daya keluaran yang didapat 0,77 W. Terdapat perbedaan yang signifikan ini dikarenakan  $I_{sc}$  yang di dapat pada penelitian ini hanya 0,01- 0,03 A. (Makkulau, Samsurizal and Kevin, 2020) menjelaskan bahwa hubungan antara suhu dan daya keluaran berbanding terbalik. Jika suhu permukaan akrilik pada jenis *polycrystalline* semakin tinggi maka daya keluaran yang dihasilkan akan semakin rendah. Namun sebaliknya jika suhu permukaan dari akrilik pada jenis *polycrystalline* semakin rendah, maka daya keluaran akan semakin tinggi atau lebih baik. Suhu dipengaruhi oleh intensitas matahari yang akan menyebabkan daya keluaran mengalami kenaikan. Adapun hubungan antara suhu permukaan dan daya berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29.

Rendahnya daya keluaran dan  $I_{sc}$  yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh suhu yang tinggi dan kerusakan internal pada panel surya. Hal ini sesuai dengan (Rajput *et al.*, 2024) menjelaskan adanya kerusakan internal pada panel surya dapat mempengaruhi hasil dari pengujian sel surya, seperti retakan pada sel yang menyebabkan beberapa area tidak dapat menerima intensitas cahaya dengan baik dan menyebabkan sel tidak aktif. Keretakan pada sel surya merupakan salah satu bentuk kerusakan internal yang umum terjadi dalam modul fotovoltaik (PV). Retakan ini dapat terjadi akibat proses manufaktur, pengangkutan, instalasi, atau beban mekanis seperti angin dan getaran selama operasi. Menurut (Aghaei *et al.*, 2022) (R *et al.*, 2025) kerusakan pada salah satu bagian kritis dapat menghambat aliran arus secara keseluruhan. Sel yang retak atau pecah bahkan yang tidak terlihat jelas dari luar dapat

menyebabkan hilangnya kontak listrik atau sirkuit terbuka pada sel tersebut. Jika satu sel dalam rangkaian rusak, ini bisa memutuskan aliran arus untuk seluruh string sel. Retakan *micro* maupun retakan besar mempengaruhi rendahnya efisiensi dan performa yang dihasilkan oleh panel surya. Retakan besar dapat menurunkan daya hingga 60%, dan kenaikan suhu 1°C dapat menurunkan efisiensi 0,45%. Hasil  $I_{sc}$  0,01 A dibawah cahaya matahari langsung menunjukkan adanya resistansi internal yang sangat tinggi pada anel surya akibat kerusakan fisik pada sel surya.

## KESIMPULAN

Dari pengambilan data, pengolahan data, analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian Tugas Akhir ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya: Optimasi daya keluaran pada *thin solar panel* dapat dicapai dengan mengendalikan suhu panel dan memanfaatkan intensitas cahaya secara maksimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu permukaan panel yang lebih rendah cenderung menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Pada pengujian semakin tebal akrilik suhu permukaan panel akan semakin rendah. Selain itu, pada pengujian menggunakan matahari semakin tebal akrilik yang digunakan suhu permukaan panel surya akan semakin rendah. Penambahan struktur pelindung berupa akrilik dengan variasi ketebalan memberikan pengaruh terhadap efisiensi *thin solar panel*. Akrilik berfungsi sebagai pelindung sekaligus pengatur suhu pada permukaan panel. Dari hasil pengujian, semakin tebal akrilik yang digunakan semakin memberikan hasil terbaik. Pada panel *polycrystalline*, penggunaan akrilik 3 mm pada pengujian kedua menghasilkan suhu terendah 53°C dan tegangan tertinggi 18,4 V, sedangkan pada pengujian pertama menghasilkan suhu 54°C dan tegangan 18,1 V.

## Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji efek struktur pelindung lainnya, seperti kaca atau material transparan lainnya, serta variasi susunan sel surya. Hal ini untuk mengetahui kombinasi terbaik yang dapat digunakan pada panel surya tipis agar efisiensinya dapat terus ditingkatkan dalam berbagai kondisi cahaya dan lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aghaei, M. et al. (2022) 'Review of degradation and failure phenomena in photovoltaic modules', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159(February), p. 112160. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112160>.
- Ali, M.H.M. et al. (2022) 'Comparison between P&O and SSO techniques based MPPT algorithm for photovoltaic systems', *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(1), pp. 32–40. Available at: <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i1.pp32-40>.
- Danny Santoso Mintorogo (2019) 'Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial', *DIMENSI (Jurnal Teknik Arsitektur)*, 28(2), pp. 129–141. Available at: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/15736>.
- Darwin, D., Panjaitan, A. and Suwarno, S. (2020) 'Analisa pengaruh Intesitas Sinar Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Sel Surya Jenis Monokristal', *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 1(2), pp. 99–106. Available at: <https://doi.org/10.53695/jm.v1i2.105>.
- Duanaputri, R. et al. (2023) 'Sistem Monitoring Online Dan Analisis Performansi Plts Panel Surya Monocrystalline 100 Wp Berbasis Web', *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 10(1), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.33795/elposys.v10i1.715>.

- Fakhira, A.A., Sudarti and Yushardi (2023) 'Analisis Pemanfaatan Panel Surya Tipe Polycrystalline 100 Wp Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat Pedesaan Di Indonesia', *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 2(4), pp. 982–985. Available at: <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1318>.
- Harahap, P. (2020) 'Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya', *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), pp. 73–80. Available at: <https://doi.org/10.30596/rele.v2i2.4420>.
- Harie Satiyadi, J., Muhamad Hudan, R. and Asrori, A. (2024) 'Analisis Pengaruh Suhu Panel Surya Terhadap Output Panel Performance', *Journal of Mechanical Engineering*, 1(1), pp. 42–51. Available at: <https://doi.org/10.47134/jme.v1i1.2189>.
- Hasrul, R. (2021) 'Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif', *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 5(2), pp. 79–87.
- Kaban, S.A. And Jafri, M. (2020) 'Optimalisasi Penerimaan Intensitas Cahaya Matahari Pada Permukaan Panel Surya ( Solar Cell ) Menggunakan Cermin', *Jurnal Fisika*, 5(2), Pp. 108–117.
- Karakilic, A.N., Karafil, A. and Genc, N. (2022) 'Effects of Temperature and Solar Irradiation on Performance of Monocrystalline, Polycrystalline and Thin-Film Pv Panels', *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 14(2), pp. 254–260.
- Makkulau, A., Samsurizal, S. and Kevin, S. (2020) 'Karakteristik Temperatur Pada Permukaan Sel Surya Polycrystalline Terhadap Efektifitas Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya', *Sutet*, 10(2), pp. 69–78. Available at: <https://doi.org/10.33322/sutet.v10i2.1291>.
- Manan, S. (2009) 'Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif yang Efisien, Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia', *Energi Matahari Sumber Energi Alternatif Yang Efisien, Handal Dan Ramah Lingkungan Di Indonesia*, pp. 31–35. Available at: <http://eprints.undip.ac.id/1722>.
- Mehrotra, S. et al. (2014) 'Performance of a Solar Panel With Water Immersion Cooling Technique', *International Journal of Science, Environment*, 3(3), pp. 1161–1172.
- Nurdiansyah, S., Dewi, A.Y. and Putra, A.M.N. (2022) 'Analisis Karakteristik Tegangan, Arus dan Daya Thin Solar Panel', in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, pp. 337–342.
- Pahlevi, R., Asy'ari, H. and Budiman, A. (2014) 'Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya', *Jurnal Universitas Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1–22.
- Poissant, Y., Canada, N.R. And Dignard-Bailey, L. (2016) 'Simple Test Methods For Evaluating The Energy Ratings Of Pv', In.
- Pramono, W.B. et al. (2013) 'Simulasi Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya Menggunakan Simulink MATLAB', 1, pp. 176–183.
- Priyatam, P.P.T.D. (2021) 'Analisa Radiasi Sinar Matahari Terhadap Panel Surya 50 WP', *RELE:Jurnal Teknik Elektro*, 4(1), pp. 48–54. Available at: <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE/article/view/7825>.
- Prima Dewi, R. (2023) 'Sistem Pendingin Panel Surya Otomatis Untuk Mengkatkan Daya Keluaran Panel Surya', *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 14(1), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.24176/simet.v14i1.8901>.
- Puriza, M.Y., Yandi, W. and Asmar, A. (2021) 'Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystaline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang', *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 8(1), pp. 47–52. Available at: <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034>.

- Purwoto, B.H. et al. (2018) 'Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif', *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), pp. 10–14. Available at: <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>.
- R, H. et al. (2025) 'Electroluminescence Imaging For Defect Analysis In Polycrystalline Solar Cells', *Metallurgical and Materials Engineering*, pp. 1279–1288. Available at: <https://doi.org/10.63278/1705>.
- Rajput, P. et al. (2024) 'A comprehensive review on reliability and degradation of PV modules based on failure modes and effect analysis', *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 19, pp. 922–937. Available at: <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad106>.
- Ramadhan, A. et al. (2023) 'Electricity Productivity Analysis of Thin Solar Panels', *The Southeast Asian Journal of Advance Engineering and Technology*, 1(1), pp. 15–20.
- Safitri, N., Rihayat, T. and Riskina, S. (2019) *Buku Teknologi Photovoltaic*. YayasanPuga Aceh Riset Redaksi:
- Sohani, A. et al. (2021) 'Energy and exergy analyses on seasonal comparative evaluation of water flow cooling for improving the performance of monocrystalline PV module in hot-arid climate', *Sustainability* (Switzerland), 13(11). Available at: <https://doi.org/10.3390/su13116084>.
- Subhan, M. (2020) 'Penentuan Efisiensi Sel Surya Merk Skytec Solar Model Sip-220 dengan Bantuan Software Logger Pro', *Gravity Edu: Jurnal Fisika, dan Pendidikan Fisika*, 3, pp. 14–17.
- Syah, E., Asri, A. And Bintoro, A. (2022) 'Analisa Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Panel Surya Jenis Mono Chrystalline Kapasitas Daya 50 Wp', *Jurnal Energi Elektrik*, 11(1), P. 22. Available At: <Https://Doi.Org/10.29103/Jee.V11i1.8260>.
- Usman, M. (2020) 'Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya', *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2), pp. 52–57. Available at: <https://doi.org/10.30591/polektro.v9i2.2047>.
- Widayana, G. (2012) 'Pemanfaatan Energi Surya', *Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FTK, UNDIKSHA*, 9, pp. 37–46.
- Yanto, R. (2020) 'Implementasi Data Mining Prediksi Kebutuhan Tenaga Listrik Di Kota Lubuklinggau', *Techno.COM*, 19(2), pp. 197–206.
- Yuliananda, S., Sarya, G. and Retno Hastijanti, R. (2015) 'Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya', *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya Nopember*, 01(02), pp. 193–202.
- Yuwono, S., Diharto, D. and Pratama, N.W. (2021) 'Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid', *Energi & Kelistrikan*, 13(2), pp. 161–171. Available at: <https://doi.org/10.33322/energi.v13i2.1537>