

**PENGARUH PENGGUNAAN *SOLAR PROTECTION FILM* PADA
EFISIENSI PANEL SURYA *SOLAR TRACKING DUAL AXIS SYSTEM***

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh:

TAMAM FALAH RAMADHAN

NPM. 3332190088

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2025**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut.

Judul : Pengaruh Penggunaan *Solar Protection Film* Pada Efisiensi Panel Surya *Solar Tracking Dual Axis System*.
Nama Mahasiswa : Tamam Falah Ramadhan
NPM : 3332190088
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 15 Januari 2025



Tamam Falah Ramadhan

3332190088

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut.

Judul : Pengaruh Penggunaan *Solar Protection Film* Pada Efisiensi Panel Surya *Solar Tracking Dual Axis System*.
Nama Mahasiswa : Tamam Falah Ramadhan
NPM : 3332190088
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 7 Januari 2025 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan **LULUS**

Dewan Penguji

Pembimbing I : Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Adi Nugraha, S.Pd., M.T.
Penguji I : HM. Hartono, S.T., M.T.
Penguji II : Felycia, S.T., M.T.

Tanda Tangan

.....
.....
.....
.....

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.
NIP.198103282010121001

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan keberkahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi. Penulisan skripsi ini bertujuan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini tanpa mengurangi rasa hormat, saya selaku penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat serta yang terutama kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dan selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
2. Bapak Adi Nugraha, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
3. Bapak Fadil Muhammad, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik Penulis.
4. Orang tua dan keluarga besar penulis yang memberikan dukungan kepada penulis baik secara moril dan materil.
5. Saudara Albertus Sera Sasmita dan Muhammad Firman Fauzy, selaku rekan satu proyek.
6. Teman-teman yang telah banyak membantu saya dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, penulis memohon maaf apabila terdapat kekeliruan di dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Cilegon, Januari 2025

Penulis

ABSTRAK

Tamam Falah Ramadhan
Teknik Elektro

Pengaruh Penggunaan *Solar Protection Film* Pada Efisiensi Panel Surya *Solar Tracking Dual Axis System*.

Fenomena *shading* merupakan faktor yang dapat mengurangi hasil *output* panel surya. Penelitian ini menganalisis dampak *shading* pada panel surya dengan sistem *solar tracking dual-axis* terhadap daya output dan efisiensi, serta hubungan suhu pada *shading*. Analisis komparasi menggunakan *solar protection film* atau kaca film berguna untuk mengetahui secara detail *output* yang dihasilkan akibat dampak *shading* yang terjadi pada panel surya, analisis dilakukan pada variasi kegelapan 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dan penutupan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, hingga 1 panel penuh. Hasil analisis terdapat perbedaan suhu 1°C-3°C antara panel tanpa *shading* dan ter-*shading*. Panel tanpa *shading* rata-rata menghasilkan daya 48 watt dengan efisiensi 44%, sedangkan panel ter-*shading* menunjukkan penurunan daya 36-0,4 watt dengan efisiensi 33%-0,3%. *Shading* secara signifikan menurunkan daya *output* dan efisiensi daya normalisasi, menunjukkan dampak yang berpengaruh pada *output* panel surya *solar tracking dual-axis system*.

Kata Kunci: *Solar Tracking Dual Axis System*, Daya Output, Efisiensi Daya Normalisasi, *Shading*, *Solar Protection Film*

ABSTRACT

Tamam Falah Ramadhan
Electrical Engineering

Effects of The Application Solar Protection Film on The Efficiency of Solar Panel Tracking Dual Axis System

The shading phenomenon is a factor that can reduce the output of solar panels. This study analyzes the impact of shading on solar panels with a dual-axis solar tracking system on output power and efficiency and the relationship between temperature and shading. Comparative analyses using solar protection film were conducted to detail the output affected by shading on solar panels, with variations in darkness levels of 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100%, and coverage of $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, and a full panel. The analysis results show a temperature difference of 1°C-3°C between unshaded and shaded panels. On average, unshaded panels produced 48 watts of power with 44% efficiency, while shaded panels showed a power reduction to 36-0,4 watts with an efficiency of 0,3%-33%. Shading significantly decreases output power and efficiency, demonstrating a notable impact on the performance of solar panels in a dual-axis solar tracking system.

Keywords: Solar Tracking Dual Axis System, Output Power, Normalized Output Power Efficiency, Shading, Solar Protection Film

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Solar Panel</i>	5
2.1.1. <i>Monocrystalline Solar Panel</i>	6
2.1.2. <i>Polycrystalline Solar Panel</i>	6
2.1.3. <i>Thin Film Solar Panel</i>	7
2.1.4. <i>Half-Cut Solar Panel</i>	8
2.2. Hal-hal Penentu Kinerja <i>Solar Panel</i>	9
2.2.1. <i>Suhu Solar Panel</i>	9
2.2.2. <i>Intensitas Sinar Matahari</i>	9

2.2.3.	Kebersihan <i>Solar Panel</i>	10
2.2.4.	Kinerja Arah <i>Solar Panel</i>	11
2.2.5.	Efek <i>Partial Shading</i>	11
2.3.	Kaca Film (<i>Solar Protection Film</i>)	13
2.3.1	<i>Visible Light Transmittance</i> (VLT).....	14
2.3.2	<i>Total Solar Energy Rejection</i> (TSER)	15
2.3.3	<i>Ultraviolet Rejection</i> (UVR).....	15
2.3.4	<i>Infrared Rejection</i> (IRR).....	15
2.4.	Mikrokontroler Arduino Mega.....	15
2.5.	<i>Solar Tracking Dual-Axis</i>	16
2.6.	Motor <i>Stepper</i>	17
2.7.	Pyranometer	18
2.8.	<i>Light Dependent Resistor</i> (LDR)	19
2.9.	<i>Digital Clamp Multimeter</i>	19
2.10.	<i>Thermogun</i>	20
2.11.	Perhitungan Daya pada <i>Solar Panel</i>	22
2.12.	Kajian Pustaka.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		26
3.1.	Metodologi Penelitian	26
3.2.	Desain Model <i>Solar Tracking Dual Axis System</i>	30
3.3.	Komponen Alat Penelitian	32
3.4.	Spesifikasi Modul Panel Surya	32
3.5.	Metode Pengambilan Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1.	Hasil Eksperimen Alat	38
4.2.	Eksperimen <i>Shading</i>	39

4.2.1. Pengamatan Iradiasi dan Suhu	41
4.2.2 Pengamatan Daya dan Efisiensi.....	51
BAB V PENUTUP.....	61
5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN A HASIL PENGUKURAN & PERHITUNGAN	A-1
LAMPIRAN B RANGKAIAN PANEL SURYA DAN <i>SHADING</i>	B-1
LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur lapisan <i>solar panel</i>	5
Gambar 2.2 <i>Monocrystalline solar panel</i>	6
Gambar 2.3 <i>Polycrystalline solar panel</i>	7
Gambar 2.4 Perbandingan sistem sel panel surya	8
Gambar 2.5 Pengaruh suhu pada panel surya	9
Gambar 2.6 Pengaruh iradiasi matahari terhadap panel surya	10
Gambar 2.7 Penutupan panel surya yang disebabkan oleh kotoran	10
Gambar 2.8 Arah solar panel terhadap pergerakan matahari	11
Gambar 2.9 Visualisasi shading objek pada panel surya	12
Gambar 2.10 Kondisi <i>solar panel</i>	12
Gambar 2.11 Efek <i>partial shading</i> pada rangkaian panel surya	13
Gambar 2.12 Refleksi dan refraksi pada kaca film	14
Gambar 2.13 Mikrokontroler arduino mega 2560	16
Gambar 2.14 Panel surya <i>solar tracking dual axis</i>	16
Gambar 2.15 <i>Start position</i> pada <i>motor stepper</i>	17
Gambar 2.16 Bentuk fisik dari <i>motor stepper</i>	17
Gambar 2.17 Pyranometer	18
Gambar 2.18 Struktur komponen pyranometer	18
Gambar 2.19 Komponen <i>light dependent resistor</i>	19
Gambar 2.20 Digital clamp multimeter	20
Gambar 2.21 Alat pengukur suhu thermogun	21
Gambar 3.1 Diagram pembagian penelitian pada <i>capstone project</i>	26
Gambar 3.2 Diagram blok penelitian	27
Gambar 3.3 Sistem kendali panel surya	29
Gambar 3.4 Sketsa dasar panel surya	31
Gambar 3.5 Desain panel surya <i>solar tracking dual axis system</i>	31
Gambar 3.6 Panel surya <i>monocristaline</i> 85 WP	32
Gambar 3.7 Stuktur panel surya <i>monocristaline</i> 85 WP	33
Gambar 3.8 Spesifikasi pada <i>nameplate</i> modul surya 85 WP	33
Gambar 3.9 Variasi kondisi penutupan panel surya	34

Gambar 3.10 Variasi tingkat kegelapan kaca film	34
Gambar 3.11 Klasifikasi kegelapan <i>Shading</i> pada panel surya	35
Gambar 3.12 Diagram blok pengambilan data	37
Gambar 4.1 Visualisasi <i>solar tracking dual axis system</i>	38
Gambar 4.2 Eksperimen <i>shading</i> panel surya,	39
Gambar 4.3 Kondisi panel surya kegelapan <i>shading</i> 0%.....	41
Gambar 4.4 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen <i>Shading</i> 0%	41
Gambar 4.5 Grafik Suhu Eksperimen <i>Shading</i> 0%.....	42
Gambar 4.6 Kondisi panel surya kegelapan <i>shading</i> 20%	42
Gambar 4.7 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen <i>Shading</i> 20%	43
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen <i>Shading</i> 20%...	43
Gambar 4.9 Kondisi panel surya kegelapan <i>shading</i> 40%	44
Gambar 4.10 Grafik Iradiasi Eksperimen <i>Shading</i> 40%.....	44
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen <i>Shading</i> 40%.	45
Gambar 4.12 Kondisi panel surya kegelapan <i>shading</i> 60%	45
Gambar 4.13 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen <i>Shading</i> 60%	46
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen <i>Shading</i> 60%.	46
Gambar 4.15 Kondisi panel surya kegelapan <i>shading</i> 80%	47
Gambar 4.16 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen <i>Shading</i> 80%	47
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen <i>Shading</i> 80%.	48
Gambar 4.18 Kondisi panel surya kegelapan <i>shading</i> 80%,	48
Gambar 4.19 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen <i>Shading</i> 100%	49
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen <i>Shading</i> 100%	49
Gambar 4.21 Grafik Daya <i>Output</i> Panel Kegelapan <i>Shading</i> 0%	52
Gambar 4.22 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi Kegelapan <i>Shading</i> 0%	52
Gambar 4.23 Grafik Daya <i>Output Shading</i> 20%	53
Gambar 4.24 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi <i>Shading</i> 20%	53
Gambar 4.25 Grafik Daya <i>Output Shading</i> 40%	54
Gambar 4.26 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi <i>Shading</i> 40%	54
Gambar 4.27 Grafik Daya <i>Output Shading</i> 60%	55
Gambar 4.28 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi <i>Shading</i> 60%	55
Gambar 4.29 Grafik Daya <i>Output Shading</i> 80%	56

Gambar 4.30 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi <i>Shading</i> 80%	56
Gambar 4.31 Grafik Daya <i>Output Shading</i> 100%	57
Gambar 4.32 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi <i>Shading</i> 100%	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Desain Eksperimen Pengambilan Data	30
Tabel 3.2 Komponen alat penelitian	32
Tabel 3.3 Spesifikasi modul panel surya 85 WP.....	33
Tabel A.1 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 0%.....	A-1
Tabel A.2 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 20%, Penutupan $\frac{1}{4}$ Panel	A-1
Tabel A.3 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 20%, Penutupan $\frac{1}{2}$ Panel	A-2
Tabel A.4 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 20%, Penutupan $\frac{3}{4}$ Panel	A-2
Tabel A.5 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 20%, Penutupan 1 Panel	A-3
Tabel A.6 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 40%, Penutupan $\frac{1}{4}$ Panel	A-3
Tabel A.7 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 40%, Penutupan $\frac{1}{2}$ Panel	A-4
Tabel A.8 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 40%, Penutupan $\frac{3}{4}$ Panel	A-4
Tabel A.9 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 40%, Penutupan 1 Panel	A-5
Tabel A.10 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 60%, Penutupan $\frac{1}{4}$ Panel	A-5
Tabel A.11 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 60%, Penutupan $\frac{1}{2}$ Panel	A-6
Tabel A.12 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 60%, Penutupan $\frac{3}{4}$ Panel	A-6
Tabel A.13 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 60%, Penutupan 1 Panel	A-7
Tabel A.14 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 80%, Penutupan $\frac{1}{4}$ Panel	A-7
Tabel A.15 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 80%, Penutupan $\frac{1}{2}$ Panel	A-8
Tabel A.16 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 80%, Penutupan $\frac{3}{4}$ Panel	A-8
Tabel A.17 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 80%, Penutupan 1 Panel	A-9
Tabel A.18 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 100%, Penutupan $\frac{1}{4}$ Panel..	A-9
Tabel A.19 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 100%, Penutupan $\frac{1}{2}$ Panel	A-10
Tabel A.20 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 100%, Penutupan $\frac{3}{4}$ Panel	A-10
Tabel A.21 Hasil Pengukuran <i>Shading</i> Kegelapan 100%, Penutupan 1 Panel.	A-11
Tabel A.22 Hasil rata-rata <i>output</i> eksperimen <i>shading</i> kegelapan 0%	A-11
Tabel A.23 Hasil rata-rata daya <i>output</i> eksperimen <i>shading</i>	A-11
Tabel A.24 Hasil rata-rata efisiensi daya normalisasi eksperimen <i>shading</i>	A-11

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Panel surya merupakan sumber daya alternatif yang tepat untuk digunakan sebagai penyedia energi berkelanjutan ramah lingkungan dengan sistem kerjanya yaitu menggunakan iradiasi matahari yang ditangkap oleh sel surya kemudian menghasilkan energi daya listrik yang dapat digunakan untuk segala keperluan yang dibutuhkan lingkungan [1], [2], [3], [4], [5]. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) semakin lama semakin mengalami perkembangan yang sangat cepat, sehingga berbagai teknologi yang berhubungan dengan panel surya semakin bervariasi [6], [7], [8], [9], [10].

Pada perkembangan panel surya terdapat suatu teknologi untuk meningkatkan penyerapan iradiasi matahari yaitu menggunakan suatu sistem yang disebut *solar tracking*, pada sistem ini bekerja dengan melakukan pergerakan matahari secara dinamis yang dideteksi langsung oleh suatu sensor cahaya, sensor ini memiliki fungsi untuk mendeteksi pergerakan dari intensitas radiasi pada matahari yang dapat membuat proses penyerapan radiasi matahari menjadi lebih baik [11]. Pada saat panel surya menangkap sinar radiasi matahari untuk menghasilkan energi listrik terdapat faktor eksternal yang dapat mempengaruhi nilai dari daya keluaran yang dihasilkan dari panel surya tersebut yaitu fenomena berbayang atau *shading* [12], [13].

Pada *shading* ini adalah suatu kondisi atau fenomena yang terjadi pada panel surya tertutup oleh suatu objek dengan visualisasi kegelapan yang berbeda tergantung dari objek yang menutupinya yang dimana pada panel surya yang tertutup tersebut nilai dari daya keluarannya mengalami penurunan tergantung besar dari *shading* tersebut, sehingga dapat dikatakan *shading* ini dapat menyebabkan hasil nilai dari daya keluaran dari panel suryanya menjadi rendah, dan juga berdampak dari hasil daya yang mempengaruhi efisiensi daya yang menyebabkan penurunan dan bahkan tidak ada *output* yang dihasilkan oleh panel surya akibat fenomena *shading* [14], [15], [16], [17].

Pada fenomena *shading* yang terjadi dengan ukuran dan visualisasi kegelapan yang berbeda diperkirakan dapat mengurangi hasil *output* dari panel surya serta belum ada penelitian yang menganalisis seberapa hasil *output* yang dihasilkan panel surya pada saat terjadi fenomena *shading* dengan berbagai ukuran serta visibilitas kegelapan yang tampak berbeda akibat dari objek tertentu yang menutupi panel surya tersebut. Dilihat pada fenomena *shading* yang terjadi pada panel surya maka untuk merepresentasikan fenomena tersebut agar dapat dengan mudah divisualisasikan maka langkah yang dilakukan yaitu dengan menggunakan pengaplikasian *solar protection film*, hal tersebut dikarenakan pada *solar protection film* ini memiliki karakteristik yang sesuai dengan karakteristik dari *shading* pada panel surya yaitu dapat merefraksikan dan merefleksikan cahaya serta memiliki kemampuan untuk memblokir radiasi infra merah atau *infrared rejection* (IRR) sehingga dapat memblokir panas yang berasal dari radiasi infra merah cahaya matahari, selain itu *solar protection film* juga dapat mengurangi intensitas dari cahaya matahari yang masuk langsung mengenai modul panel surya atau disebut kemampuan *visible light transmittance* (VLT) merupakan sifat penerusan cahaya berdasarkan visibilitas kegelapan dengan nilai persentase. Pada *solar protection film* yang memiliki sifat karakteristik yang sama dengan *shading* yang terjadi pada panel surya maka hal ini akan berpengaruh terhadap kinerja serta hasil *output* pada panel surya tersebut [18], [19].

Berdasarkan dengan latar belakang maka pada tugas akhir ini, penelitian yang dilakukan yaitu melakukan analisis kinerja dan hasil daya *output* serta efisiensi daya normalisasi terhadap fenomena *shading* dengan representasi menggunakan *solar protection film* dengan kondisi normal atau tidak tertutup *shading* serta *shading* yang tertutup oleh *solar protection film* pada panel surya *solar tracking dual axis system*.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini memiliki rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh suhu terhadap daya *output* pada panel surya *solar tracking dual axis system* saat kondisi normal dan *shading*?

2. Berapakah nilai daya *output* dan efisiensi daya normalisasi panel surya *solar tracking dual axis system* saat kondisi normal dan *shading*?
3. Bagaimana pengaruh *shading* terhadap daya *output* dan efisiensi daya normalisasi panel surya *solar tracking dual axis system*?

1.3. Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini, memiliki beberapa tujuan yang berhubungan dengan pengaruh efek *shading*, yaitu:

1. Menganalisis hubungan pengaruh suhu terhadap daya *output* pada panel surya *solar tracking dual axis system* saat kondisi normal dan *shading*.
2. Mengestimasi nilai daya *output* dan efisiensi daya normalisasi panel surya *solar tracking dual axis system* saat kondisi normal dan *shading*.
3. Menganalisis pengaruh *shading* terhadap daya *output* dan efisiensi daya normalisasi panel surya *solar tracking dual axis system*.

1.4. Manfaat Penelitian

Pada bagian ini merupakan manfaat dari penelitian dengan pengaruh efek *shading*, yaitu:

1. Sebagai bahan referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan efek *shading* pada panel surya jenis *solar tracking dual axis system*.
2. Sebagai referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan efisiensi daya panel surya dalam kondisi normal dan *shading*.
3. Sebagai bahan pengembangan penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan *shading* dalam berbagai variasi kegelapan pada panel surya.

1.5. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, memiliki batasan masalah mengenai penelitian panel surya, yaitu:

1. Jenis panel surya yaitu *monocrystalline* memiliki kapasitas sebesar 85 WP.
2. Area pengambilan data di Area lahan terbuka FT UNTIRTA.
3. Waktu untuk pengambilan data dilakukan 21 hari, pada jam 06.00 WIB sampai 18.00 WIB dalam kondisi cerah.

4. Pada penelitian ini pengambilan data pada panel surya dilakukan dalam kondisi normal dan *shading*.
5. Pada pengujian *shading* menggunakan *solar protection film* berwarna hitam dengan berbagai variasi kegelapan yaitu 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% serta dengan penutupan $\frac{1}{4}$ panel, $\frac{1}{2}$ panel, $\frac{3}{4}$ panel, dan 1 panel.
6. Merk stiker kaca film yang digunakan yaitu 3M AutoFilm.
7. Variabel penelitian mencakup daya *output* dan efisiensi daya normalisasi.
8. Pada penelitian ini sistem yang digunakan yaitu *open circuit*.
9. Pada penelitian ini hanya membahas efek *shading* yang ditimbulkan pada panel surya *solar tracking dual axis system* dengan *solar protection film*.

1.6. Sistematika Penulisan

Pada sistematika penulisan ini terdapat pembahasan inti dalam setiap bab yang ada, yaitu sebagai berikut.

BAB I

Dalam bab ini terdapat penjelasan latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian, batasan penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II

Dalam bab ini terdapat beberapa dasar teori panel surya, arduino mega, komponen sensor LDR, motor *stepper*, komponen pyranometer, sistem *solar tracking*, serta efek *partial shading*.

BAB III

Dalam bab ini terdapat penjelasan tentang beberapa metode penelitian yang digunakan, alur pada penelitian, perancangan rangka *solar panel*, perancangan sistem *solar panel*, dan alur pengujian *solar panel* sistem *dual axis*.

BAB IV

Dalam bab ini berisi tentang hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan beserta dengan analisis sesuai dengan batasan yang digunakan.

BAB V

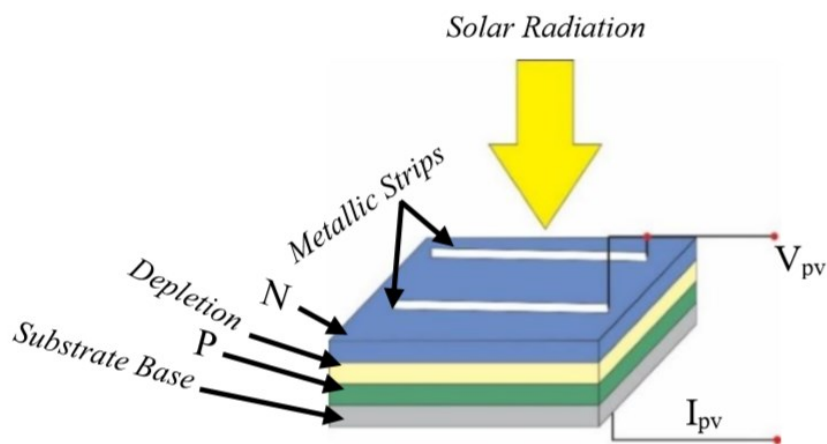
Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Solar Panel*

Solar panel atau biasa disebut panel surya merupakan komponen atau alat semikonduktor yang memiliki fungsi sebagai untuk mengkonfersi suatu energi yang berasal dari matahari yang kemudian diubah menjadi energi berupa listrik. Pengkonfersian energi dilakukan yaitu dengan melepaskan suatu elektron yang menerima suatu impuls sinar dari matahari. *Solar panel* menggunakan bahan yang bersifat semikoduktor yaitu *silicon* yang berguna untuk melakukan koversi energi. Pada bahan *silicon* ini memiliki beberapa lapis yaitu lapis yang memiliki muatan (N) atau negatif serta lapis yang memiliki muatan (P) atau positif [20]. Pada Gambar 2.1 merupakan lapisan *solar panel*.



Gambar 2.1 Struktur lapisan *solar panel* [15]

Pada *solar panel* untuk mengubah sinar dari matahari menjadi suatu energi listrik yaitu dengan menggunakan suatu komponen yang disebut *Grid Connected*, komponen ini menghasilkan suatu energi listrik yaitu berupa arus DC. *Solar panel* menghasilkan suatu energi listrik dengan besar tegangan 0,6 volt dengan seluruh sel pada kondisi tanpa memiliki beban, serta pada *solar panel* menghasilkan suatu energi listrik dengan besar tegangan 0,45 volt pada seluruh sel dengan kondisi memiliki beban. Pada *solar panel* dibagi menjadi beberapa jenis dilihat dari bahan pembuatannya antara lain *Polycrystalline*, *Thin film*, serta *Monocrystalline* [21].

2.1.1. *Monocrystalline Solar Panel*

Panel surya *monocrystalline* merupakan panel surya yang dapat menghasilkan suatu daya yang tinggi pada persatuan luas sehingga dari daya yang dihasilkan tersebut panel surya ini dapat dikatakan panel surya yang efisiensi sebesar 15% sampai 20% [22]. Pada penggunaannya panel surya tersebut digunakan untuk penggunaan ditempat yang memiliki lingkungan iklim ekstrim. Pada panel surya ini memiliki kelemahan yaitu pada saat cuaca teduh efisiensinya menjadi kurang baik [21]. Pada panel surya *monocrystalline* memiliki bentuk susunan yang kompleks pada bentuk panelnya, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Monocrystalline solar panel* [23]

2.1.2. *Polycrystalline Solar Panel*

Panel surya *polycrystalline* merupakan panel surya yang komponen bahan penyusunnya terdiri dari kristal yang tersusun secara acak. Pada panel surya jenis ini memiliki ukuran penampang panel yang lebih besar sehingga untuk mengoprasikannya haruslah membutuhkan tempat serta area yang luas [21]. Pada panel surya ini memiliki efisiensi yang lebih rendah yaitu sebesar 13% sampai 16% [22]. Pada Gambar 2.3 merupakan bentuk panel surya *polycrystalline*.



Gambar 2.3 *Polycrystalline solar panel* [23]

2.1.3. *Thin Film Solar Panel*

Panel surya *thin film* merupakan panel surya dengan teknologi paling baru yang dimana panel surya ini memiliki komponen lapisan dengan struktur yang tipis yang terdiri dari *microcrystalsilicon* serta *amorphous* [21]. Pada panel surya ini memiliki efisiensi yaitu sebesar 8,5% [22]. Pada panel surya ini sangat cocok digunakan pada tempat yang memiliki sedikit sinar matahari dikarenakan daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya ini 45% lebih besar dibandingkan panel surya jenis lain [21].

Pada panel surya *thin film* ini terdapat beberapa jenis dilihat dari bahan serta efisiensi yang dihasilkan pada panel surya tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. *Amorphous Silicon (a-Si) Solar Panel*

Pada panel surya ini pada umumnya diterapkan pada komponen alat elektronik sebagai daya utama atau daya tambahan. Panel surya ini memiliki struktur lapis yang bersusun atau biasa disebut *stacking* yang jika disatukan bertumpuk. Panel surya ini memiliki efisiensi sebesar 6% sampai 8% pada saat beroperasi [24].

2. *Cadmium Telluride (CdTe) Solar Panel*

Pada panel surya ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan *Amorphous Silicon*. Panel surya ini dikatakan lebih baik dikarenakan bahan yang digunakan merupakan bahan *cadmium telluride*. Panel surya yang terbuat dari bahan *cadmium telluride* sehingga berdampak pada efisiensinya menjadi lebih baik

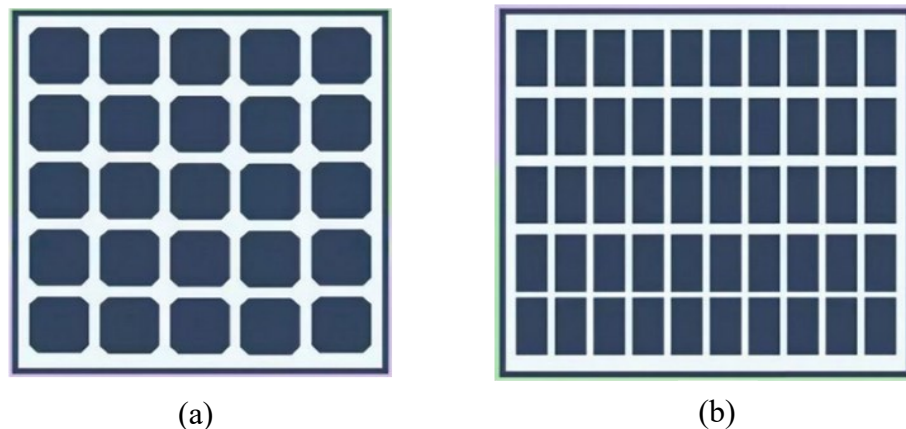
yaitu sebesar 9% sampai 11% pada saat beroperasi [24].

3. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Panel*

Pada panel surya ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan *amorphous silicon* serta *cadmium telluride*. Panel surya ini dikatakan lebih baik dikarenakan bahan yang digunakan merupakan bahan *copper indium gallium selenide*. Panel surya yang terbuat dari bahan *copper indium gallium selenide* sehingga berdampak pada efisiensinya menjadi lebih baik yaitu sebesar 10% sampai 12% pada saat beroperasi [24].

2.1.4. *Half-Cut Solar Panel*

Panel surya *half-cut* merupakan jenis panel surya dengan sistem penggunaan pada keseluruhan selnya terbagi menjadi dua atau setengah potong. Pada penerapan teknologi *half-cut* memiliki keuntungan pada panel surya dalam hal kinerjanya terutama pada hasil *output*. Teknologi *half-cut* juga memiliki keuntungan pada panel surya dalam hal penerimaan panas yang berasal dari matahari atau pun lingkungan sekitar, pada saat panel surya menerima panas maka panas tersebut akan menyebar secara merata hal tersebut dikarenakan sistem sel setengah potong yang diterapkan menyebabkan celah pada setiap bagian sel sehingga sirkulasi panas akan mengalir dengan baik serta merata, sehingga panel surya kemungkinan kecil akan terhindar dari *overheat* [25], [26].



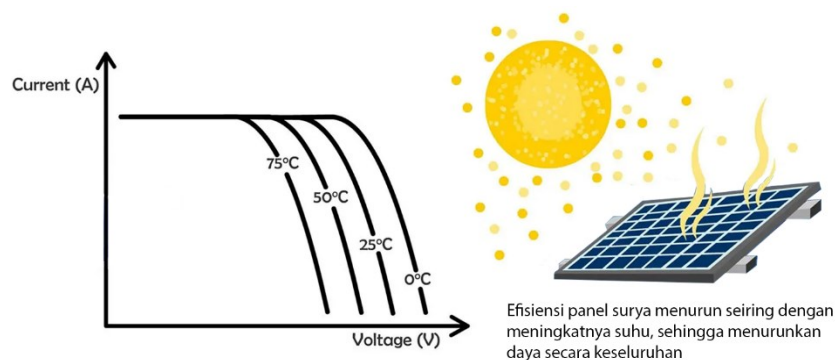
Gambar 2.4 Perbandingan sistem sel panel surya, (a) *Standard solar panel*, (b) *Half-cut solar panel*

2.2. Hal-hal Penentu Kinerja Solar Panel

Pada bagian ini merupakan beberapa penentu kinerja dari *solar panel*, dapat dilihat sebagai berikut.

2.2.1. Suhu Solar Panel

Suhu pada *solar panel* faktor yang berpengaruh, hal ini dikarenakan akan berhubungan langsung dengan efek yang ditimbulkan sel surya dalam menyerap cahaya matahari untuk dilakukan pengubahan energi matahari menjadi daya listrik. Pada *solar panel* suhu yang paling stabil yaitu sebesar 25°C , maka jika suhu *solar panel* melebihi suhu tersebut maka akan mempengaruhi daya keluaran yang dihasilkan, dan jika suhu *solar panel* terlalu tinggi maka akan mengganggu kinerja panel surya dalam menghasilkan daya listrik. Pada suhu ini merupakan faktor yang sangat penting bagi panel surya dalam menjalankan sistemnya [27].

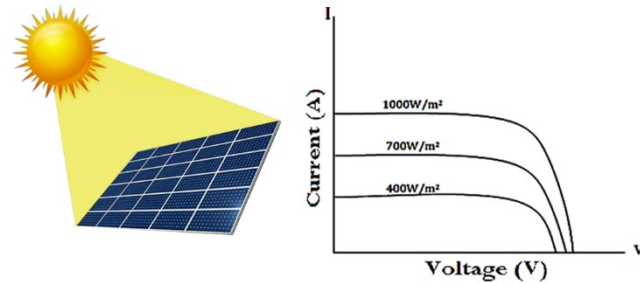


Gambar 2.5 Pengaruh suhu pada panel surya

2.2.2. Intensitas Sinar Matahari

Intensitas sinar matahari atau iradiasi matahari merupakan salah faktor penentu pada *solar panel* dikarenakan sinar matahari merupakan radiasi yang dapat menghantar menuju permukaan bumi yang ditangkap oleh *solar panel*. Pada radiasi matahari ini merupakan suatu hal yang dapat mempengaruhi sistem kerja *solar panel*. Pada radiasi ini adalah faktor yang menentukan hasil dari ukuran arus yang ada, jika *solar panel* menerima radiasi matahari dalam ukuran yang kurang maka arus yang dihasilkan akan mengecil sehingga yang terjadi atom elektron yang lepas menjadi sedikit serta arus listrik yang dihasilkan akan turun. Pada intensitas sinar matahari ini memiliki nominal tertinggi sebesar 1.000 W/m^2 ini mengacu pada jumlah energi cahaya yang jatuh pada area tertentu pada waktu tertentu. Pada

intensitas sinar matahari ini merupakan hal yang sangat berpengaruh pada arus serta *output* yang dihasilkan oleh sel surya dalam menerima radiasi sinar matahari tersebut [28].

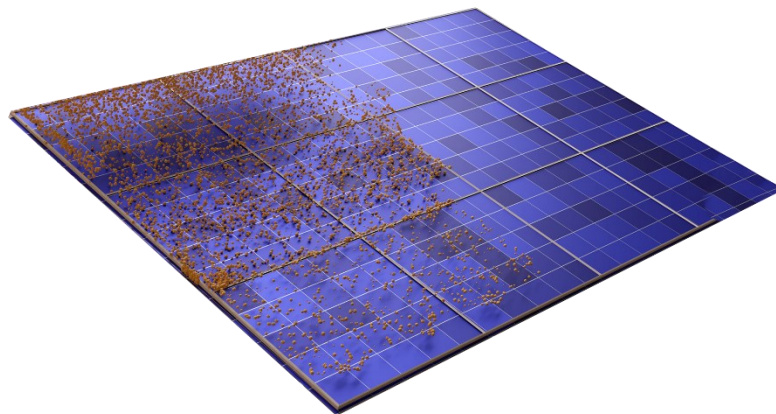


Hasil output panel surya meningkat seiring dengan meningkatnya iradiasi yang didapat oleh panel surya

Gambar 2.6 Pengaruh iradiasi matahari terhadap panel surya

2.2.3. Kebersihan *Solar Panel*

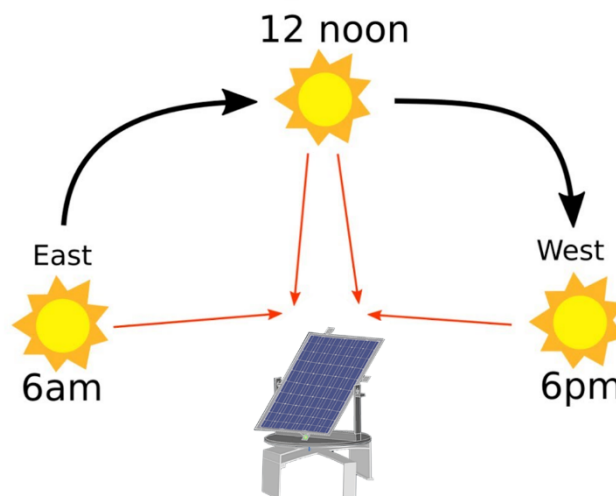
Pada kebersihan *solar panel* ini merupakan hal yang sangat mempengaruhi kinerja dalam menghasilkan daya listrik. Kebersihan *solar panel* sangatlah penting dikarenakan jika panel terhalang oleh kotoran atau debu serta kotoran sejenisnya maka sel surya tidak dapat menangkap radiasi matahari secara sempurna sehingga arus akan menjadi kecil serta akan berpengaruh pada energi listrik yang dihasilkan. Pada kebersihan *solar panel* merupakan suatu hal yang harus diperhatikan, dikarenakan hal tersebut dapat mengganggu sistem *solar panel* dalam memproduksi energi listrik [28].



Gambar 2.7 Penutupan panel surya yang disebabkan oleh kotoran

2.2.4. Kinerja Arah Solar Panel

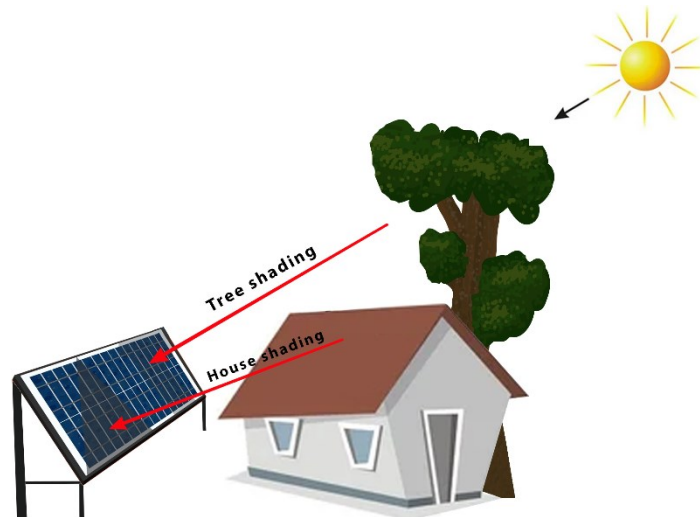
Arah *solar panel* merupakan faktor yang mempengaruhi kinerja dari *solar panel* dalam mendapatkan suatu daya yang dihasilkan. Pada *solar panel* akan mendapatkan suatu daya optimal pada saat *solar panel* tersebut arahnya berhadapan langsung dengan posisi matahari itu berada dengan sudut sebesar 90° . Pada arah *solar panel* ini hal yang penting pada *solar panel* dalam menghasilkan daya keluarannya, yang dimana kinerja *solar panel* akan menjadi lebih baik jika panel tersebut menghadap langsung ke matahari serta sebaliknya [28].



Gambar 2.8 Arah *solar panel* terhadap pergerakan matahari

2.2.5. Efek *Partial Shading*

Efek *partial shading* merupakan efek yang sangat berpengaruh langsung terhadap kinerja *solar panel* itu sendiri. Pada *partial shading* ini merupakan suatu objek atau benda berwujud yang menutupi atau menghalangi sebagian sisi *solar panel* sehingga *solar cell* yang terdapat pada *solar panel* tidak dapat menghasilkan daya keluaran yang baik [29]. Pengaruh *partial shading* ini dapat menyebabkan hasil nilai dari daya keluaran dari panel suryanya menjadi rendah, sehingga hasil daya berdampak pada efisiensi daya yang ada yang menyebabkan efisiensi tersebut menjadi lebih kecil [30], [31]. Efek *partial shading* terhadap sel surya yaitu pada bagian sel yang terdapat pada panel surya tertutup oleh suatu objek, yang dimana pada panel surya yang tertutup tersebut nilai dari daya keluarannya mengalami penurunan tergantung besar dari *partial shading* tersebut [32], [33].



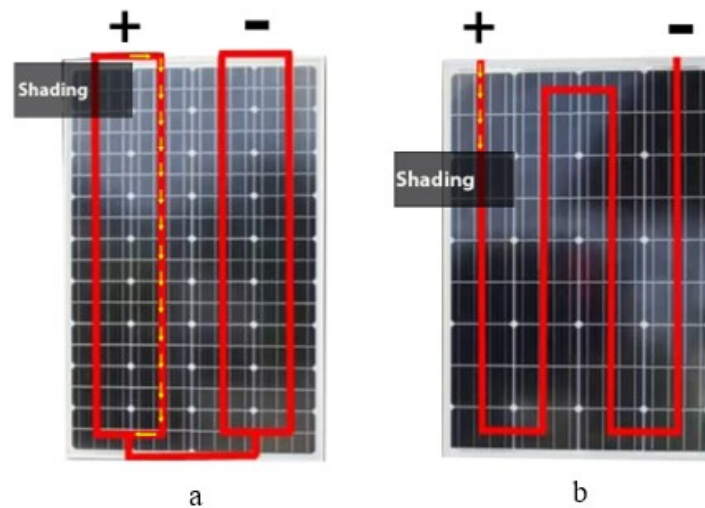
Gambar 2.9 Visualisasi *shading* objek pada panel surya

Pada Gambar 2.10 merupakan kondisi *solar panel* dalam kondisi yang berbeda.



Gambar 2.10 Kondisi *solar panel*, (a) Kondisi normal, (b) Kondisi *partial shading* [15]

Pada *partial shading* merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindari oleh panel surya, hal tersebut dikarenakan benda atau objek yang menyebabkan *partial shading* akan selalu ada sehingga dapat dikatakan suatu hal yang sulit untuk menghindari *partial shading*. Pada efek yang ditimbulkan oleh *partial shading* terhadap panel surya memiliki dampak yang besar terutama pada bagian sistem didalamnya. Seperti yang diketahui panel surya merupakan suatu gabungan antar sel surya yang dihubungkan menjadi satu rangkaian, setiap sel yang terhubung tersebut terdapat dua jenis rangkaian yaitu seri dan paralel yang memiliki efek yang berbeda pada saat panel surya terkena *partial shading* [34].

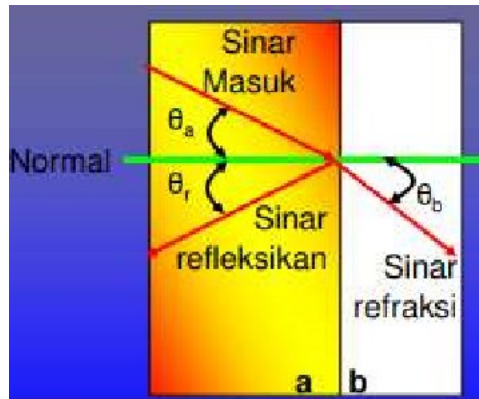


Gambar 2.11 Efek *partial shading* pada rangkaian panel surya, (a) Rangkaian paralel, (b) Rangkaian seri

Efek *partial shading* pada sistem yang terpasang pada sistem rangkaian sistem sel surya seperti pada Gambar 2.11, pada sistem rangkaian sel dengan hubungan seri pada saat terkena efek *partial shading* nilai tegangan panel surya menjadi turun serta mempengaruhi daya output menjadi lebih rendah dan sedangkan pada sistem rangkaian sel yang tersusun paralel pada saat terkena efek *partial shading* nilai tegangan panel surya juga menjadi turun akan tetapi pada arusnya akan dapat selalu bertambah sesuai dengan nilai iradiasi matahari yang didapat panel surya [34].

2.3. Kaca Film (*Solar Protection Film*)

Kaca film, *solar protection film*, atau *solar control film* adalah kaca yang berfungsi untuk memperkecil daya tembus sinar matahari, pelindung dari sinar infra merah serta ultraviolet. Pada penggunaannya kaca film ini digunakan sebagai pelindung dari cahaya, kaca film ini memiliki permukaan yang gelap sehingga dapat menyerap cahaya. Kaca film memiliki sifat material yang padat dan bening sehingga dapat digunakan pada permukaan yang relatif tipis. Pada kaca film ini dapat mengurangi kecerahan matahari yang berlebih dengan permukaan yang gelap kaca film ini dapat menyerap dengan baik [18], [35]. Pada Gambar 2.12 merupakan visualisasi penembusan cahaya.



Gambar 2.12 Refleksi dan refraksi pada kaca film, (a) Refleksi, (b) Refraksi [18]

Pada kaca film ini memiliki suatu kemampuan untuk mengurangi radiasi sinar matahari pada saat radiasi sinar matahari tersebut mengenai kaca film. Pada kaca film ini dapat mengurangi radiasi sinar matahari dikarenakan kaca film ini memiliki kemampuan merefleksikan (memantulkan) cahaya matahari serta juga memiliki kemampuan untuk merefraksikan (membelokkan) cahaya matahari. Pada kaca film ini dengan adanya kemampuan tersebut maka dapat digunakan sebagai komponen pengurang cahaya [18].

Pada kaca film ini terdapat beberapa sifat dilihat dari reaksi serta kemampuan pada saat mengenai cahaya, yaitu sebagai berikut:

2.3.1 *Visible Light Transmittance (VLT)*

Visible light transmittance atau biasa disebut sifat penerusan cahaya yang tampak adalah suatu besaran yang menyatakan besaran cahaya yang diteruskan, sehingga makin kecil nilai besar VLT maka makin gelap pula kaca filmnya. Pada umumnya pada hal tersebut kaca film dikelompokkan berdasarkan tingkat kegelapannya. Berikut merupakan tingkat kegelapan kaca film berdasarkan VLT [18].

- | | | |
|----|--------------------|--|
| a. | VLT 60% sampai 75% | : Transparansi kegelapan kaca film 20% |
| b. | VLT 50% sampai 59% | : Transparansi Kegelapan kaca film 30% |
| c. | VLT 30% sampai 49% | : Transparansi Kegelapan kaca film 40% |
| d. | VLT 11% sampai 29% | : Transparansi Kegelapan kaca film 60% |
| e. | VLT 2% sampai 10% | : Transparansi Kegelapan kaca film 80% |

2.3.2 *Total Solar Energy Rejection (TSER)*

Total solar energy rejection merupakan suatu nilai yang menyatakan besaran energi matahari yang diblokir kaca film. Kaca film yang memiliki nilai TSER yang besar memiliki tingkat kegelapan yang pekat sehingga kaca film tersebut sangat reflektif pada saat terkena cahaya. Pada TSER ini untuk melihat nilainya dapat dibandingkan pada tingkat kegelapan kaca film berdasarkan VLT [18].

2.3.3 *Ultraviolet Rejection (UVR)*

Ultraviolet rejection atau *bloked* adalah suatu penandaan kemampuan pada kaca film dalam melakukan penolakan pada sinar ultraviolet yang masuk. Pada bagian UVR ini tingkatan dalam melakukan penolakan dapat dilihat dari nilainya, semakin besar nilai UVR maka semakin baik pula kaca film dalam menolak sinar. Pada umumnya kaca film yang ada pada saat ini memiliki tingkat UVR dengan nilai lebih dari 90% [18].

2.3.4 *Infrared Rejection (IRR)*

Infrared rejection merupakan suatu kemampuan kaca film dalam menolak panas. Kemampuan menolak panas ini ditentukan dengan suatu nilai yang dimana makin besar nilai persentasenya maka makin baik pula kaca film dalam menolak panas. Pada sinar *infrared* ini merupakan suatu radiasi yang tidak tampak, sinar tersebut memiliki ukuran yang sangat kecil yaitu 700 hingga 2.500 nanometer [18].

2.4. Mikrokontroler Arduino Mega

Mikrokontroler arduino mega atau biasa disebut arduino mega 2560 merupakan suatu mikrokontroler yang memiliki bentuk *single board* yang dimana pada mikrokontroler ini memiliki sifat *open source*. Fungsi utama dari arduino mega ini yaitu dirancang sebagai perangkat pengontrol elektronik untuk memudahkan pekerjaan disegala bidang. Pada arduino ini merupakan suatu mikrokontroler yang memiliki basis pada chip dengan jenis chip yaitu ATmega2560 yang digunakan sebagai sistem pengendalian utama. Pada alas atau

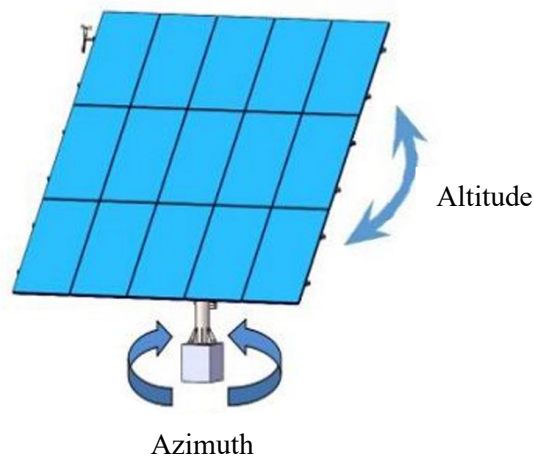
board terdapat pin digital I/O yaitu dengan jumlah 54 pin. Pada pin digital I/O yang dimana 54 pin tersebut yaitu diantaranya terdapat pin analog input berjumlah 16 pin, PWM berjumlah 15 pin, serta UART berjumlah 4 pin. Pada arduino mega ini dapat dikatakan lengkap dikarenakan didalamnya terdapat power jack DC, ICSP header, port USB, reset button, serta oscillator 16 MHz [36]. Pada Gambar 2.13 merupakan bentuk fisik dari arduino mega 2560.



Gambar 2.13 Mikrokontroler arduino mega 2560 [36]

2.5. *Solar Tracking Dual-Axis*

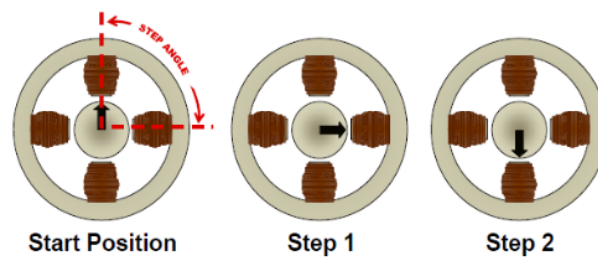
Pada panel surya *solar tracking dual axis* adalah panel surya yang memiliki sistem penggerak dua sudut. Pergerakan pada panel surya *solar tracking dual axis* yaitu sudut *azimuth* serta *altitude*. Dengan pergerakan dua sudut panel surya *solar tracking dual axis* dapat bergerak dengan mengikuti arah pergerakan matahari dengan dikombinasikan dengan sistem kendali sehingga dapat memaksimatlkan *output* yang didapat dari matahari [37].



Gambar 2.14 Panel surya *solar tracking dual axis*

2.6. Motor Stepper

Motor *stepper* merupakan suatu alat penggerak yang rotasinya bergerak berdasarkan langkah serta memiliki kemampuan dalam sistem kontrolnya secara *open loop*. Motor *stepper* adalah suatu motor DC yang tidak terdapat komutator, yang dimana pada motor *stepper* ini hanya terdapat suatu kumparan di statornya serta bagian rotornya terdapat magnet permanen. Pada motor *stepper* ini berdasarkan konstruksi yang telah dijelaskan sebelumnya, motor *stepper* ini dapat diatur pada posisinya sesuai keinginan serta kebutuhan [38]. Pada Gambar 2.15 merupakan *start position* pada motor *stepper*.



Gambar 2.15 *Start position* pada motor *stepper* [39]

Pada motor *stepper* ini berotasi pada sudut *step* berdasarkan pada motor yang digunakan. Pada *step size* atau ukuran pada motor *stepper* dapat berada pada sudut $0,9^\circ$ sampai dengan 90° . Pada sudut *step* ini memiliki variasi sudut contohnya pada sudut 15° , 30° , 45° , serta seterusnya sesuai dengan kondisi serta kebutuhan. Pada posisi rotasinya yang cenderung eksak serta stabil. Pada motor *stepper* ini dilihat dari variasi sudutnya membuat sistem pengontrolan pada sistemnya dapat lebih mudah [40]. Pada Gambar 2.16 merupakan bentuk dari motor *stepper*.



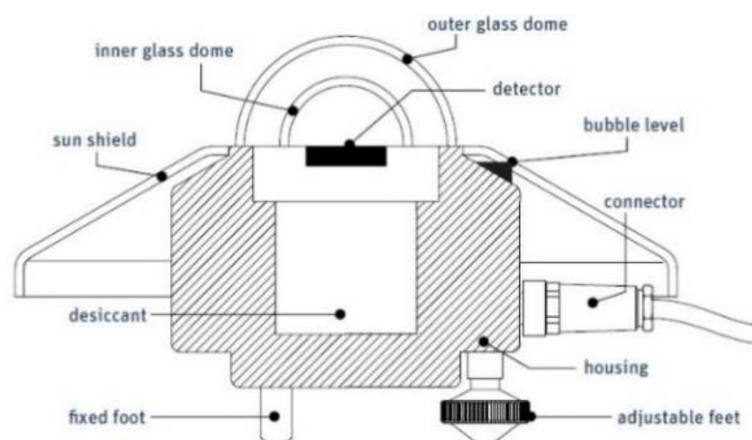
Gambar 2.16 Bentuk fisik dari motor *stepper* [38]

2.7. Pyranometer

Pada komponen pyranometer ini merupakan suatu alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran pada sinar radiasi matahari. Komponen pyranometer ini dapat melakukan pengukuran pada radiasi yang berbeda yaitu pada radiasi global ataupun pada radiasi *diffuse* dengan ukuran spektrumnya sebesar 300 nm sampai 3000 nm. Pada komponen pyranometer ini dapat mengukur beberapa radiasi yaitu radiasi global atau *Global Horizontal Irradiance* (GHI), radiasi baur atau *Diffuse Horizontal Irradiance* (DHI), serta *Direct Normal Irradiance* (DNI) yang selalu tegak lurus terhadap sinar datang pada garis lurus dari arah matahari di langit. Berikut pada Gambar 2.17 merupakan bentuk fisik dari komponen pyranometer [41].



Gambar 2.17 Pyranometer



Gambar 2.18 Struktur komponen pyranometer [41]

2.8. *Light Dependent Resistor (LDR)*

Light dependent resistor atau biasa disebut sensor LDR merupakan suatu jenis resistor yang dapat mengalami suatu perubahan terhadap nilai resistansinya tergantung dari besar nilai intensitas cahaya yang didapatkan. Pada saat kondisi cahaya tidak terang atau gelap pada LDR ini nilai tahanannya menjadi makin besar, akan tetapi pada saat kondisi cahayanya terang nilai tahanan LDR makin kecil. Pada LDR ini merupakan komponen yang sangat penting dikarenakan pada komponen ini merupakan perangkat pendeteksiian yang menentukan besar dari nilai pada intensitas cahaya yang diterima [11]. Pada Gambar 2.19 merupakan bentuk fisik dari komponen *light dependent resistor*.



Gambar 2.19 Komponen *light dependent resistor* [42]

Pada komponen LDR ini merupakan sebuah semikonduktor berbentuk cakram yang terdapat dua buah batang elektroda yang terpasang di permukaannya. Pada bagian cakramnya dalam keadaan kondisi gelap nilai bahannya menghasilkan suatu elektron bebas yang kecil yang berdampak pada muatan elektron yang jumlahnya menjadi sedikit. Pada penggunaan LDR untuk perangkat *solar panel* biasanya memiliki 4 buah sensor LDR yang digunakan untuk melakukan pendeteksiian pergerakan matahari dari berbagai arah [11].

2.9. *Digital Clamp Multimeter*

Digital clamp multimeter atau tang ampere multimeter digital adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik yang ada pada kabel konduktor yang terdapat aliran arus dengan kedua penjepit atau *clamp* dengan tidak berkontak

secara langsung pada terminalnya, sehingga tidak mengganggu rangkaian listrik yang diukur tersebut. Penggunaan tang ampere untuk mengukur arus yang mengalir yaitu hanya dengan menekan tuas untuk membuka kedua penjepit atau *clamp* selanjutnya tempatkan dan masukan penjepit tersebut pada area sekeliling kabel listrik yang diukur tersebut dan nilai arus akan tertampil. *Digital clamp multimeter* penggunaannya sangatlah mudah dan aman hal tersebut dikarenakan untuk mengukur arus pada suatu rangkaian listrik hanya dengan meletakan *clamp* pada area kabel, serta aman tanpa bersentuhan dengan rangkaian listrik sehingga terhindar dari sengatan listrik yang berbahaya [43].

Digital clamp multimeter yang digunakan pada penelitian ini juga terdapat fitur multimeter sehingga *digital clamp multimeter* ini terdapat kabel *probe* yang berjumlah dua yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tegangan DC, resistansi, tegangan AC, dan frekuensi. Penggunaan fitur *multimeter* untuk melakukan pengukuran yaitu dengan menghubungkan kedua *probe* kedalam rangkaian listrik yang diukur tersebut dan nilai pengukuran akan tertampil. Fitur *multimeter* pada *digital clamp multimeter* sangatlah membantu dikarenakan pada fitur ini dapat melakukan pengukuran nilai tegangan [43].



Gambar 2.20 *Digital clamp multimeter*

2.10. *Thermogun*

Thermogun biasa disebut termometer genggam atau termometer inframerah merupakan alat ukur pengukur suhu yang penggunaannya dengan melakukan pengukuran dengan jarak tertentu. *Thermogun* merupakan termometer

non-kontak yang pengukurannya dari kejauhan dengan media perantaranya menggunakan radiasi inframerah yang memancarkan menuju objek atau benda yang diukur. Penggunaan *thermogun* sebagai alat pengukur suhu sangatlah efisiensi dikarenakan penggunaannya yang cepat, sederhana, serta mudah [44].



Gambar 2.21 Alat pengukur suhu *thermogun*

Alat pengukur suhu *thermogun* yang terlihat pada Gambar 2.21 merupakan termometer yang cara kerjanya yaitu dengan menerima radiasi panas yang ada pada bidang yang terkena panjang gelombang inframerah yang selanjutnya dikonversi menjadi nilai besaran suhu. Pada *thermogun* yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis termometer industri yang dilengkapi dengan detector radiasi panas yaitu *thermal detector* yang memiliki sensitivitas pada bidang inframerah sebesar 8 sampai 14 μm , dengan ketelitian sebesar 0,1 s.d. 1 % pada nilai pembacaannya. Hasil yang tertampil pada *thermogun* tersebut sangatlah dipengaruhi oleh jarak pengukuran dari objek atau benda yang akan diukur dengan *thermogun* serta emisivitas benda atau radiasi panas yang ada pada bidang yang terkena panjang gelombang inframerah terhadap *thermogun* tersebut. Penggunaan *thermogun* industri biasa digunakan untuk keperluan pengukuran suhu pada suatu objek atau benda padat yang bersifat mekanikal ataupun elektrikal, sehingga penggunaannya sangatlah cocok digunakan untuk kegiatan pengamatan ataupun penelitian guna mengetahui suhu pada objek yang akan diamati atau diteliti [44].

Pada penggunaannya *thermogun* untuk melakukan pengukuran suhu sangatlah mudah yaitu dengan cukup mengatur tombol besaran satuan suhu dalam celsius atau fahrenheit selanjutnya arahkan *thermogun* pada objek atau benda yang akan diukur suhunya selanjutnya tekan pelatuk tuas yang berada pada bagian

genggaman dan suhupun akan tertampil pada layar *thermogun*. Pengukuran suhu dengan menggunakan *thermogun* merupakan langkah yang efisiensi sehingga dapat dengan mudah mengukur suhu yang akan diukur tersebut, selain cara pengoprasiannya yang mudah, penggunaanya yang dapat dikatakan aman dikarenakan dalam melakukan pengukuran suhu tersebut hanya dengan mendekatkan *thermogun* dengan objek atau benda yang akan diukur tersebut tanpa harus melakukan kontak dengan objeknya. Penggunaan *thermogun* merupakan langkah yang tepat untuk melakukan pengukuran pada penelitian ini sehingga objek yang akan diukur suhunya aka naman dari kontak benda lain sehinnga tidak akan mempengaruhi hasil dari penelitian yang dilakukan [44].

2.11. Perhitungan Daya pada *Solar Panel*

Pada penelitian ini terdapat beberapa perhitungan guna mendapatkan hasil dari penelitian. Perhitungan yang dihunakan pada penelitian ini merupakan perhitungan daya yang berkaitan dengan pembahasan *solar panel* pada penelitian ini yaitu daya output, serta perhitungan efisiensi daya normalisasi. Berikut merupakan perhitungan daya pada *solar panel*.

1. Perhitungan Daya *Output*

Mengetahui daya *output* pada *solar panel* dapat dihitung dengan Persamaan (2.1) [45].

$$P_{out} = V \times I \quad (2.1)$$

Keterangan:

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan sel surya (Volt)

I = Arus sel surya (Ampere)

2. Perhitungan Efisiensi Daya Normalisasi

Mengetahui efisiensi yang dihasilkan pada *solar panel* dapat dihitung dengan Persamaan (2.2) [46].

$$\eta_n = \frac{P_{act}}{P_{max}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

η_n = Efisiensi daya normalisasi (%)

P_{act} = Daya *output* yang terukur pada modul surya (Watt)

P_{max} = Daya maksimal modul surya (Watt)

2.12. Kajian Pustaka

Pada bagian kajian pustaka ini merupakan penelitian terdahulu. Pembahasan berkaitan dengan pengaruh efek *shading* pada efisiensi panel surya 85 WP dengan sistem *solar tracking dual axis*. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan suatu landasan pada penelitian ini.

Pada penelitian [15] melakukan perbandingan terhadap daya keluaran panel surya statis berkapasitas 250 Wp dalam kondisi normal dan kondisi *partial shading*. Hasil pada penelitian ini yaitu menunjukkan suatu perbedaan pada saat kondisi normal daya keluaran maksimum yang dihasilkan yaitu 493,14 Watt serta pada daya keluaran minimum yang dihasilkan besar nilainya 77,63 Watt, kemudian pada saat kondisi *partial shading* pada daya keluaran maksimum yang dihasilkan besar nilainya yaitu 217,17 Watt serta pada daya keluaran minimum yang dihasilkan besar nilainya 91,24 Watt. Pada penelitian ini efisiensi yang dihasilkan akibat *partial shading* yaitu 3% sampai 4%.

Penelitian yang dilakukan [47] pengujian pada panel surya dengan jenis *polycrystalline* yang terkena efek bayangan dari pohon dan bangunan serta melakukan pengukuran pada daya keluaran terhadap bagian panel surya yang tertutup bayangan. Hasil yang didapat pada penelitian ini yaitu pada daya keluaran yang dihasilkan sebelum tertutup bayangan besar dayanya 51,75 Watt, pada saat permukaan panel surya tertutup 84,217% bagian dasarnya, daya yang diperoleh menjadi menurun yaitu sebesar 29,49 Watt. Pada penelitian ini menyatakan bahwa makin besar nilai bayangan yang menutupi bagian permukaan panel surya maka makin kecil daya yang dihasilkan panel surya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [48] adalah penelitian analisa daya pembangkit *photovoltaic array* 9x10 Wp mendapat efek terbayang (*shading effect*). Penelitian ini melakukan pengujian pengaruh *shading* terhadap kinerja panel surya,

penelitian menggunakan 2 metode yaitu menggunakan *prototype* dan simulasi, penelitian ini menggunakan komponen dioda yang berguna untuk melakukan pencegahan kerusakan yang terjadi pada panel surya akibat dari pengaruh *shading*. Hasil yang didapat daya tertinggi saat kondisi normal yang dihasilkan metode *prototype* yaitu sebesar 69,1 Wp dan pada metode simulasi sebesar 67,75 Wp, serta daya tertinggi saat kondisi *shading* yang dihasilkan metode *prototype* yaitu sebesar 51,4 Wp dan pada metode simulasi sebesar 33,06 Wp. Pada penelitian ini daya puncak tertinggi didapat dari jumlah radiasi yang diserap oleh panel surya tersebut.

Hasil dari penelitian [49] membahas tentang simulator panel surya ekonomis untuk pengujian MPPT pada kondisi berbayang sebagian. Pada penelitian ini yaitu melakukan suatu pengujian simulasi panel surya yang ekonomis dengan sistem yang beroperasi dengan metode *maximum power point tracking* (MPPT). Pada simulasi sistem bekerja dengan pengaturan *power supply* DC yang digunakan untuk mewakili kondisi iradasi serta dengan *standart test conditions* (STC) untuk menirukan panel surya dalam keadaan iradasi. Pengujian dilakukan dengan kondisi iradasi yang bervariasi yaitu sekitar 200 sampai 1.000 W/m². Hasil pengujian dilakukan dengan 4 kondisi, yaitu pada kondisi pertama panel surya disimulasikan pada saat panel surya 1 dengan variasi iradasi 200 s.d.1.000 W/m² dan panel surya 2 dengan iradasi 0 W/m² dengan hasil pengujian panel surya mendapatkan iradasi yang merata. Pada kondisi kedua disimulasikan pada saat panel surya 1 dengan variasi iradasi 1.000 W/m² dan panel surya 2 dengan iradasi 200 s.d. 500 W/m² dengan hasil pengujian terlihat perubahan iradasi berdambak pada perubahan tegangan di atas 20 V serta adanya lebih dari satu titik daya maksimum yang kondisinya sama pada keadaan berbayang. Pada kondisi ketiga disimulasikan pada saat panel surya 1 dengan variasi iradasi 300 sampai 1.000 W/m² dan panel surya 2 dengan iradasi 200 W/m² dengan hasil pengujian terlihat perubahan iradasi berdampak pada perubahan tegangan yang nilainya lebih kecil dari 20 V serta adanya lebih dari satu titik daya maksimum yang kondisinya sama pada keadaan berbayang. Simulator dapat digunakan untuk mensimulasikan keadaan panel surya saat mendapatkan perbedaan iradasi dalam kondisi berbayang mendakati kondisi aslinya.

Pada penelitian [50] membahas pengaruh kerusakan diode *bypass* pada

performa 50 modul *photovoltaic* dalam kondisi *partial shading*. Penelitian ini melakukan simulasi pada model panel surya yang berjumlah 50 *photovoltaic* dalam kondisi posisi *partial shading* yang berubah serta kerusakan yang terjadi pada *diode bypass*. Penelitian ini menggunakan variasi pada iradiasinya yaitu 100W/m^2 sampai 1000W/m^2 dengan suhu 30°C dengan mengatur konfigurasi pada sistem *photovoltaic farm*. Hasil yang didapat yaitu panel surya yang mengalami *partial shading* sebanyak 15 *photovoltaic* dengan didapatnya daya maksimum sebesar 73,87 Watt dengan mengalami kenaikan daya sebesar 72%. Sistem rekonfigurasi yang diterapkan pada *photovoltaic farm* dapat dikatakan efektif dikarenakan dapat mengurangi kerugian daya pada sistem yang mengalami *partial shading* serta kerusakan yang terjadi pada bagian komponen *diode bypass*.

Penelitian [19] membahas panel surya dengan sistem Array yang tersusun sebanyak 25 modul yang terkonfigurasi sebanyak 5 string dengan kapasitas daya 75 Wp yang tertutup oleh bayangan sebagian dengan berbagai variasi skema penutupan dengan persentase dengan objek penutup benda berupa lembaran kardus, penutupan dilakukan dengan persentase 0%, 12%, 24%, 36%, 40%, 52%, dan 80%, pada setiap persentase penutupan dilakukan pengamatan pada setiap daya yang dihasilkan panel surya. Hasil penelitian terdapat penurunan pada setiap besar area penutupan persentasenya yaitu: penutupan 0% daya yang dihasilkan sebesar 67 watt, penutupan 12% daya 63 watt, penutupan 24% daya 35 watt, penutupan 36% daya 24 watt, penutupan 40% daya 19 watt, penutupan 52% daya 9 watt, penutupan 80% daya 1,5 watt.

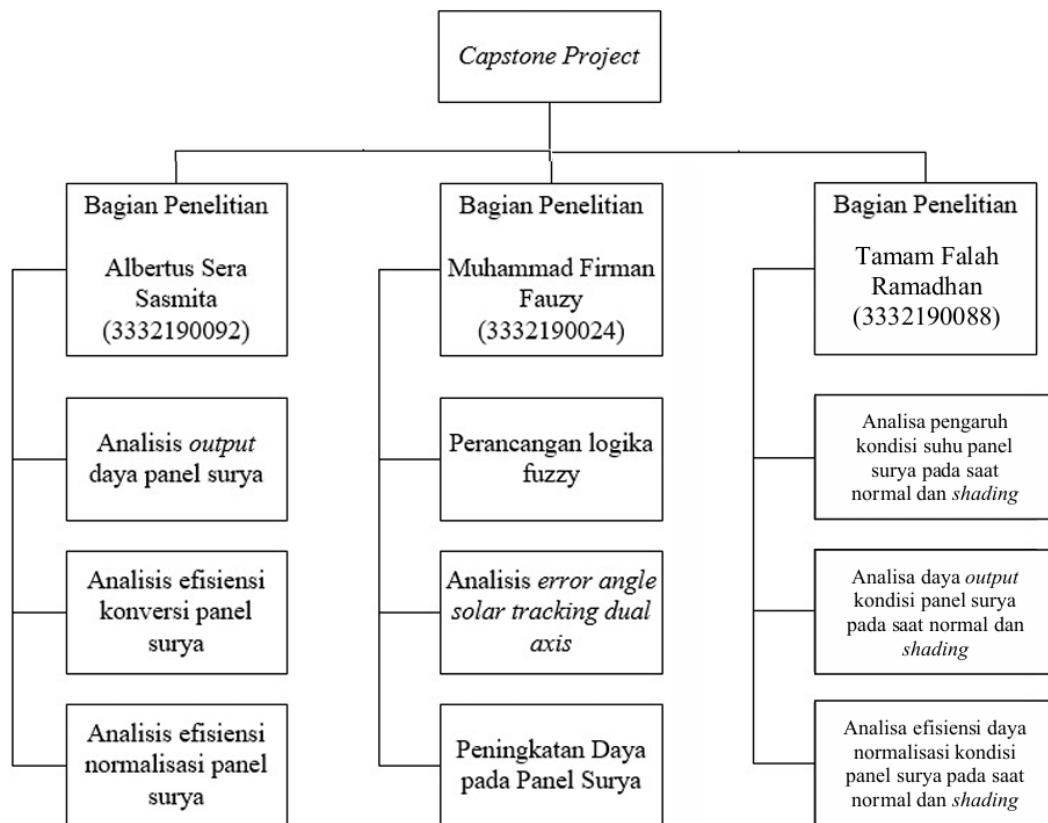
Berdasarkan dari penelitian [15], [47], [48], [49], [50], [19] merupakan rujukan dari kajian pustaka pada penelitian sebelumnya, maka dari itu pada penelitian ini akan meneliti efek *shading* dengan media *solar protection film* pada *solar tracking system dual axis system* dengan jenis panel surya *monocrystalline* yang memiliki kapasitas sebesar 85 WP dengan waktu pengambilan data selama 21 hari dimulai pada jam 6 pagi sampai dengan jam 6 sore dengan selisih waktu 1 jam lamanya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

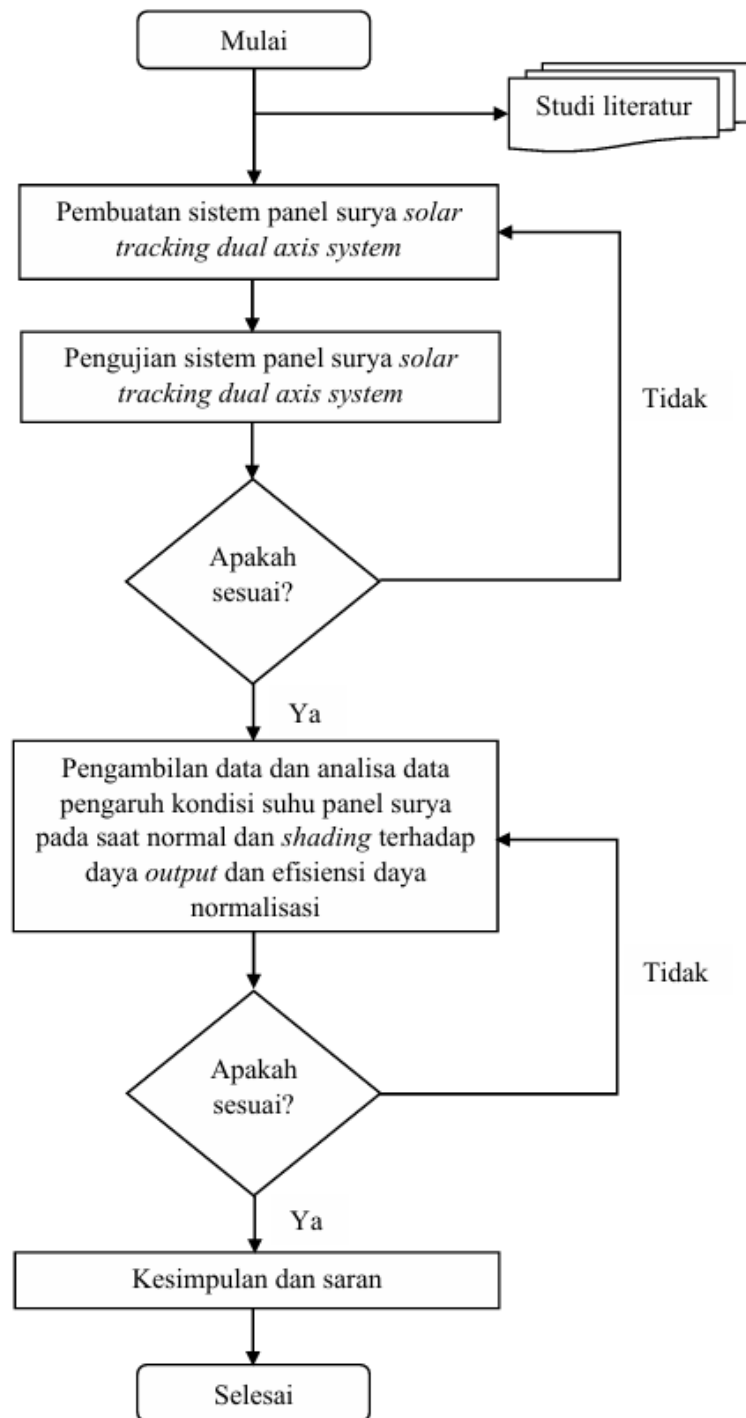
Pada bagian metodologi penelitian ini terdapat beberapa tahapan untuk mendapatkan hasil pada penelitian yang dilakukan. Pada Gambar 3.1 merupakan diagram *capstone project* pada panel surya *solar tracking dual axis system* dengan masing-masing penelitian yang berbeda-beda, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram pembagian penelitian pada *capstone project*

Pada penelitian ini penulis yaitu Tamam Falah Ramadhan pada *capstone project* ini melakukan penelitian dengan melakukan analisa pada parameter suhu panel surya dan suhu *solar protection film* sebagai representasi *shading*, analisa hasil daya *output* serta analisa hasil efisiensi daya normalisasi pada panel surya *solar tracking dual axis system* pada saat kondisi panel surya normal atau tidak terkena *shading* dan terkena *shading*.

Pada Gambar 3.2 merupakan diagram blok alur penelitian yang dilakukan oleh penulis, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram blok penelitian

Pada penelitian ini berdasarkan beberapa tahapan penelitian yang tertera pada Gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Pada bagian studi literatur ini memiliki tujuan yaitu menemukan suatu informasi mengenai *shading* yang terjadi pada panel surya. Pada penelitian panel surya yang digunakan yaitu panel surya *solar tracking system dual system* yang pada pergerakannya yaitu menggunakan motor *stepper*. Pada sistem pendeteksian pergerakan arah matahari pada panel surya ini menggunakan sistem sensor pelacak yaitu sensor *Light Dependent Resistor* (LDR). Pada keseluruhan rangkaian komponen yang terhubung pada panel surya ini dikendalikan oleh komponen mikrokontroler yaitu arduino mega.

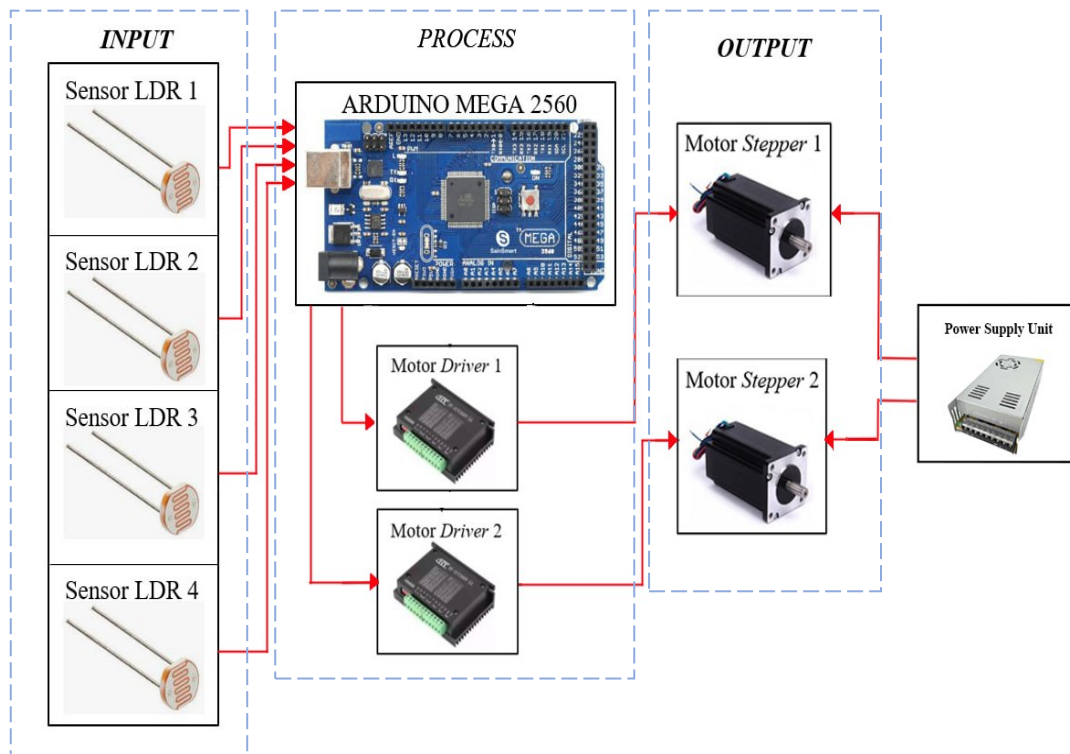
2. Pembuatan panel surya *solar tracking dual axis system*

Pada pembuatan sistem panel surya *solar tracking dual axis system* ini memiliki tujuan yaitu untuk membuat keseluruhan sistem. Pada bagian ini terdapat beberapa tahapan mulai dari perancangan model, perakitan model, hingga pembuatan sistem pengendalian serta pergerakan pada panel surya tersebut. Pada bagian ini merupakan bagian penting dikarenakan pada bagian ini merupakan tahap pembuatan alat yang akan digunakan pada penelitian ini.

Tahap perancangan hal yang dilakukan yaitu merancang beberapa komponen serta bagian pada panel surya. Perancangan dimulai dengan melakukan desain model panel surya dengan menggunakan *software* AutoCAD, dalam tahap desain dilakukan penggambaran kerangka serta beberapa komponen yang akan digunakan. Pada sketsa model panel surya dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.

Perakitan model dilakukan yaitu melakukan pembuatan serta pemasangan pada setiap kerangka serta beberapa komponen lainnya. Pemasangan dilakukan dengan cara menghubungkan kerangka menjadi satu bagian model, setelah beberapa kerangka telah terhubung menjadi satu menjadi kerangka dasar modul panel surya maka kerangka tersebut dapat dipasangkan panel surya. Setelah tahap perakitan sudah selesai maka dilanjutkan pada tahap pembuatan sistem pengendalian.

Pada sistem pengendalian ini bekerja dengan sistem yang terhubung pada komponennya, yaitu arduino mega 2560, sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), *driver* motor, serta motor *stepper*. Pada pengendalian panel surya ini berguna agar panel surya dapat mengikuti pergerakan matahari agar mendapatkan intensitas sinar dari matahari dengan maksimal serta lebih terarah. Pada Gambar 3.3 merupakan sistem kendali pada panel surya.



Gambar 3.3 Sistem kendali panel surya

3. Pengujian panel surya *solar tracking* sistem *dual axis*

Pada bagian pengujian panel surya *solar tracking* sistem *dual axis* ini memiliki tujuan yaitu untuk memastikan bahwa panel surya yang telah dibuat bekerja dengan baik, mulai dari rangka model sampai sistem kendalinya dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Pada pengujian panel surya *solar tracking* sistem *dual axis* ini dilakukan tepat di area lahan terbuka Fakultas Teknik UNTIRTA pada pukul 06.00 sampai 18.00 dalam waktu 21 hari. Data yang diambil pada pengujian panel surya ini merupakan efek pengaruh *shading* pada efisiensi panel surya 85 WP dengan sistem *solar tracking dual axis*.

4. Pengambilan data pada kondisi normal dan *shading*

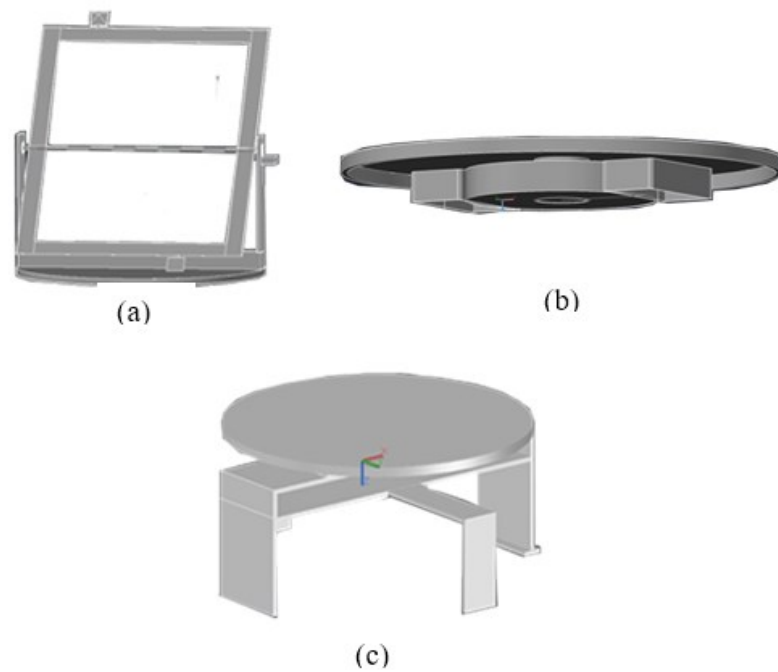
Pada bagian pengambilan data pada kondisi normal dan *shading* ini memiliki tujuan yaitu untuk mendapatkan hasil dari penelitian yang dilakukan. Pengambilan data dilakukan secara langsung melalui pengamatan pada panel surya *solar tracking* sistem *dual axis*. Pada penelitian ini terdapat detail pengambilan data Penelitian yang terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Desain Eksperimen Pengambilan Data

Desain	Parameter	Deskripsi
Lingkungan	Waktu	06.00 sampai 18.00
	Temperatur Lokal	28°C sampai 33°C (Cilegon, Indonesia)
	Tempat Pengambilan	Area lahan terbuka FT UNTIRTA
Subjek	Cahaya matahari	Jumlah intensitas matahari
	<i>Shading</i>	<i>Solar protection film</i> 20%, 40%, 60%, 80%, 100%
Sistem kendali	Arduino Mega	Pengendali pada motor <i>stepper</i> serta sensor LDR
	Sensor LDR	4 buah LDR
	Motor <i>stepper</i>	2 buah motor
	<i>Driver</i> Motor	2 buah
Panel surya	<i>monocrystalline</i>	Kapasitas 85 WP
Alat ukur	Pyranometer	Pengukur intensitas iradiasi matahari
	Digital Clamp Multimeter	Pengukur arus dan tegangan listrik
	Thermogun	Pengukur suhu

3.2. Desain Model *Solar Tracking Dual Axis System*

Pada pembuatan panel surya *solar tracking dual axis system* diawali dengan pembuatan gambar serta perencanaan dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak berbasis komputer yaitu AutoCAD solidworks. Perencanaan dilakukan pada bagian seluruh komponen panel surya dimulai dari rangka panel surya, rangka bawah dasar panel surya, serta beberapa komponen alat ukur pendukung yang terhubung dengan panel surya seperti sensor LDR, pyranometer, dan *shading bar*. Pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 merupakan beberapa bagian gambar desain model panel surya *solar tracking dual axis system*.



Gambar 3.4 Sketsa dasar panel surya, (a) Sketsa atas, (b) Sketsa wadah bawah, (c) Sketsa kaki penopang



Gambar 3.5 Desain panel surya *solar tracking dual axis system*

3.3. Komponen Alat Penelitian

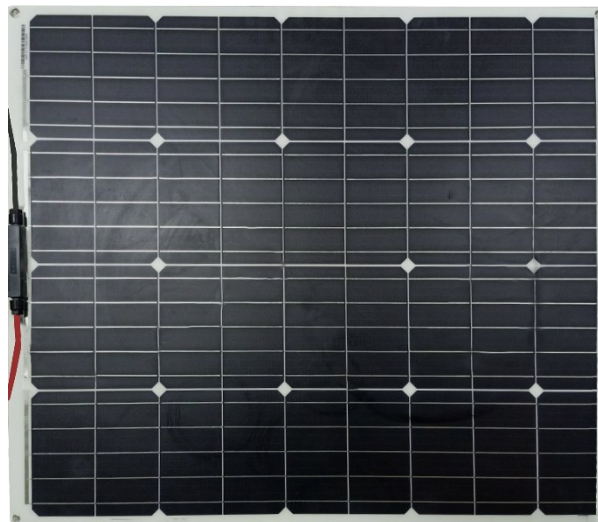
Pada bagian komponen alat ini merupakan beberapa komponen pendukung pada penelitian yang dilakukan ini. Pada bagian komponen alat ini memiliki fungsi dan jenis yang berbeda pada bagiannya. Berikut merupakan komponen alat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Komponen alat penelitian

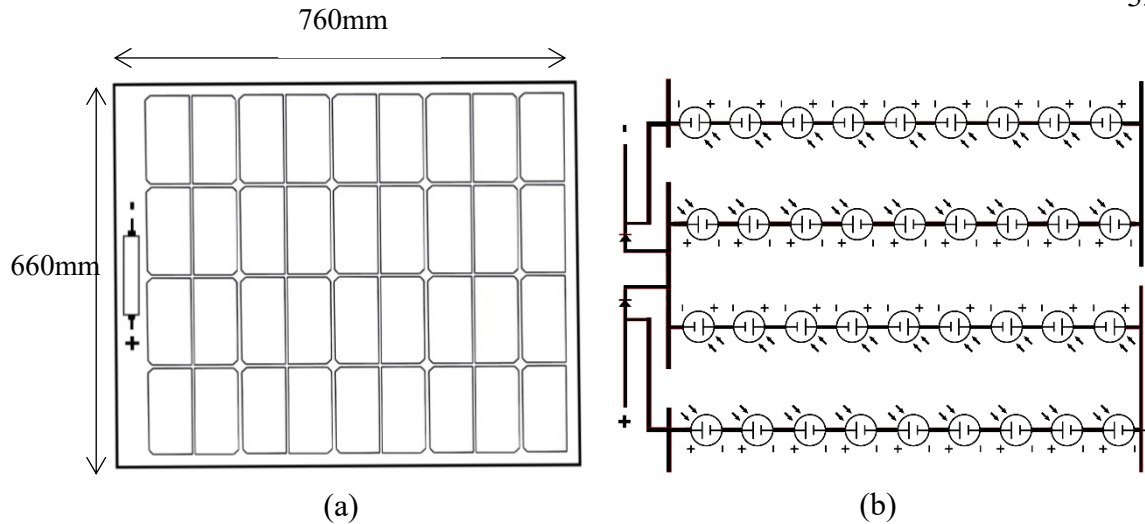
Jenis Komponen	Nama Komponen
<i>Hardware</i>	Motor stepper Nema 23
	Driver motor stepper YS-DIV268N-5A
	Power supply 24 Volt 15A
	Arduino Mega 2560
	Sensor Light Dependent Resistor (LDR)
	Pyranometer
<i>Software</i>	AutoCAD

3.4. Spesifikasi Modul Panel Surya

Pada panel surya yang digunakan pada penelitian ini merupakan panel surya *monocrystalline* dengan kapasitas daya 85 WP. Panel surya ini merupakan panel surya fleksibel yang sesuai dengan penggunaan penelitian ini. Berikut merupakan spesifikasi modul panel surya.



Gambar 3.6 Panel surya *monocrystalline* 85 WP



Gambar 3.7 Struktur panel surya *monocristaline* 85 WP, (a) Struktur susunan sel, (b) Struktur *wiring* antar sel

Tabel 3.3 Spesifikasi modul panel surya 85 WP

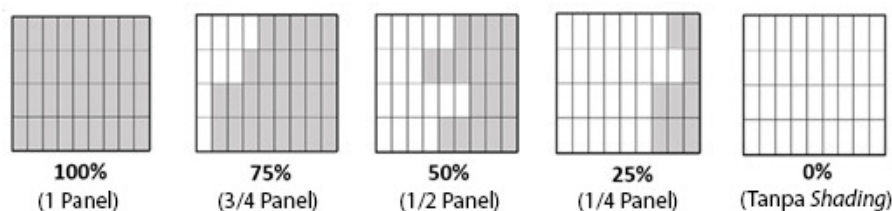
No	Spesifikasi	Keterangan
1	Model	DFSP-85
2	Berat	0,9 Kg
3	Luas	0,45 m ²
4	Voc	22,5 V
5	Isc	4,97 A
6	Vmp	18 V
7	Imp	4,72 A
8	Pmax	85W ± 3%
9	Efisiensi	22%
10	Nominal Operating Cell Temp. (NOCT)	-45°C s.d. 80°C

Solar Module		
Model		DFSP-85M
Maximum Power	(Pmax)	85W±3%
Maximum Power Voltage	(Vmp)	18.00V
Maximum Power Current	(Imp)	4.72A
Open Circuit Voltage	(Voc)	22.50V
Short Circuit Current	(Isc)	4.97A
Nominal Operating Cell Temp.	(NOCT)	-45to80°C
Maximum System Voltage		DC1000V
Maximum Series Fuse		15A
For field connections, use minimum No. 12 AWG copper wires insulated for a minimum 90°C		
Weight		0.90Kgs
Dimension		760*660mm
Standard Test Conditions		
EF = 22% IRRADIANCE = 1000W/m ² Temp. = 25°C		
  		
MADE IN CHINA		

Gambar 3.8 Spesifikasi pada *nameplate* modul surya 85 WP

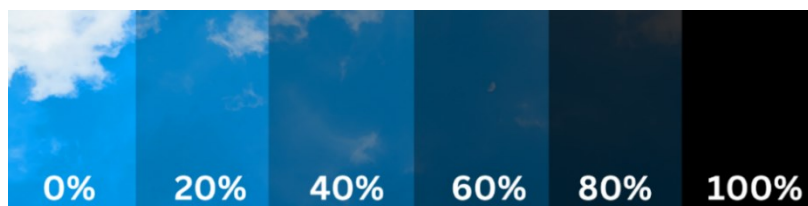
3.5. Metode Pengambilan Data

Penelitian yang dilakukan ini terdapat beberapa variabel data diantaranya suhu panel surya, daya *output* serta efisiensi daya normalisasi, dari beberapa variabel tersebut kemudian dilakukan pengamatan pada panel surya *solar tracking dual axis system* untuk mengetahui seberapa besar penggunaan *solar protection film* sebagai representasi *shading* mempengaruhi kondisi serta *output* dari panel surya *solar tracking dual axis system*. Pengambilan data hasil *output* panel surya dilakukan dengan mengambil daya *output*, dan efisiensi daya normalisasi pada panel surya dalam kondisi normal dan *shading* yang di dapat dari hasil kalkulasi dengan menggunakan Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.2). Pada kondisi *partial shading* ini pengambilan data penelitian ini yaitu dengan menggunakan *solar protection film* yang ditempelkan pada permukaan panel surya dengan tingkat kegelapan yang berbeda pada setiap posisi. Berikut merupakan variabel yang digunakan pada penelitian ini yang terlihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.



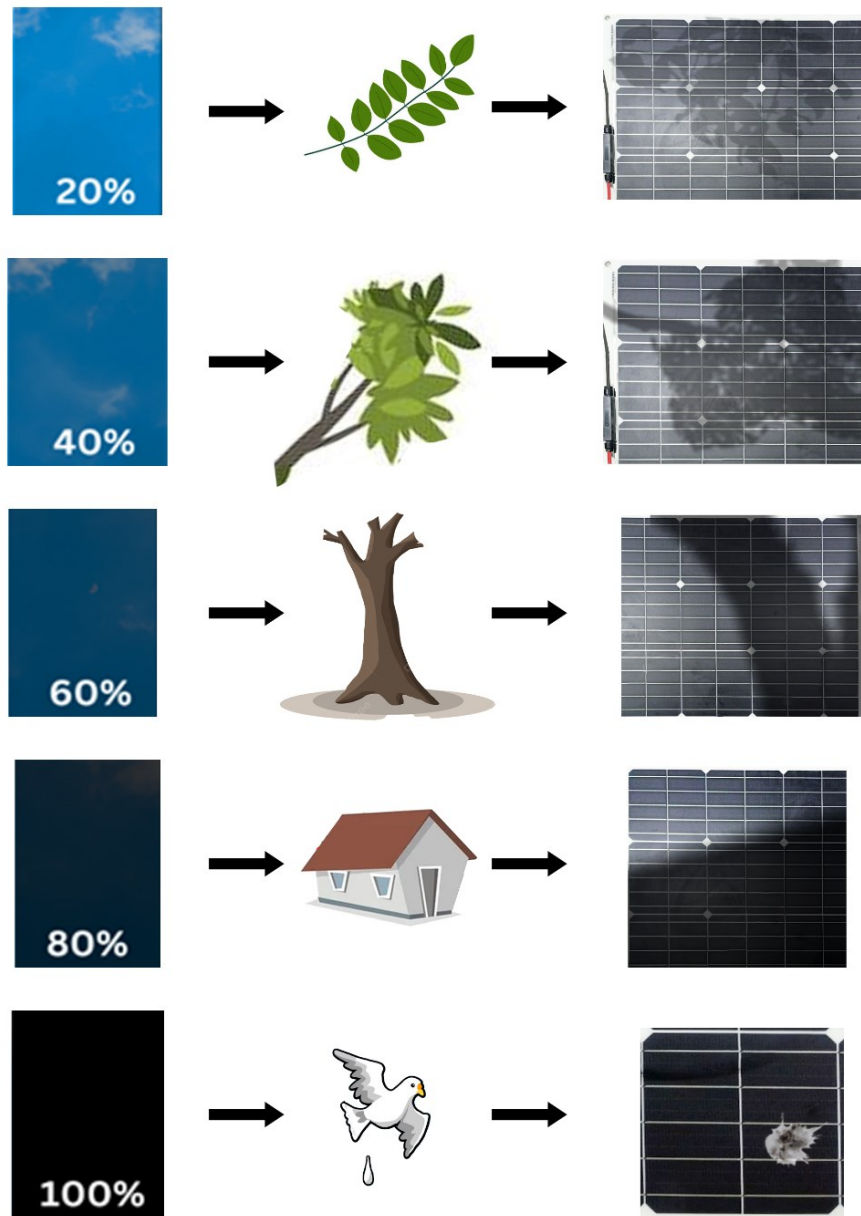
Gambar 3.9 Variasi kondisi penutupan panel surya

Pada Gambar 3.8 terdapat beberapa kondisi penutupan panel surya pada saat keadaan normal dan *shading*, kondisi panel surya diketahui dengan nilai persentase dengan Perhitungan (A.1) pada Lampiran A. Nilai persentase ini merupakan besar bagian panel surya yang tertutup *shading* dengan kondisi penutupan yang berbeda sesuai dengan *shading* asli yang terjadi. Variasi penutupan panel surya keadaan normal yaitu 0% saat keadaan *shading* yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Berikut variasi tingkat kegelapan kaca film penelitian ini pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Variasi tingkat kegelapan kaca film

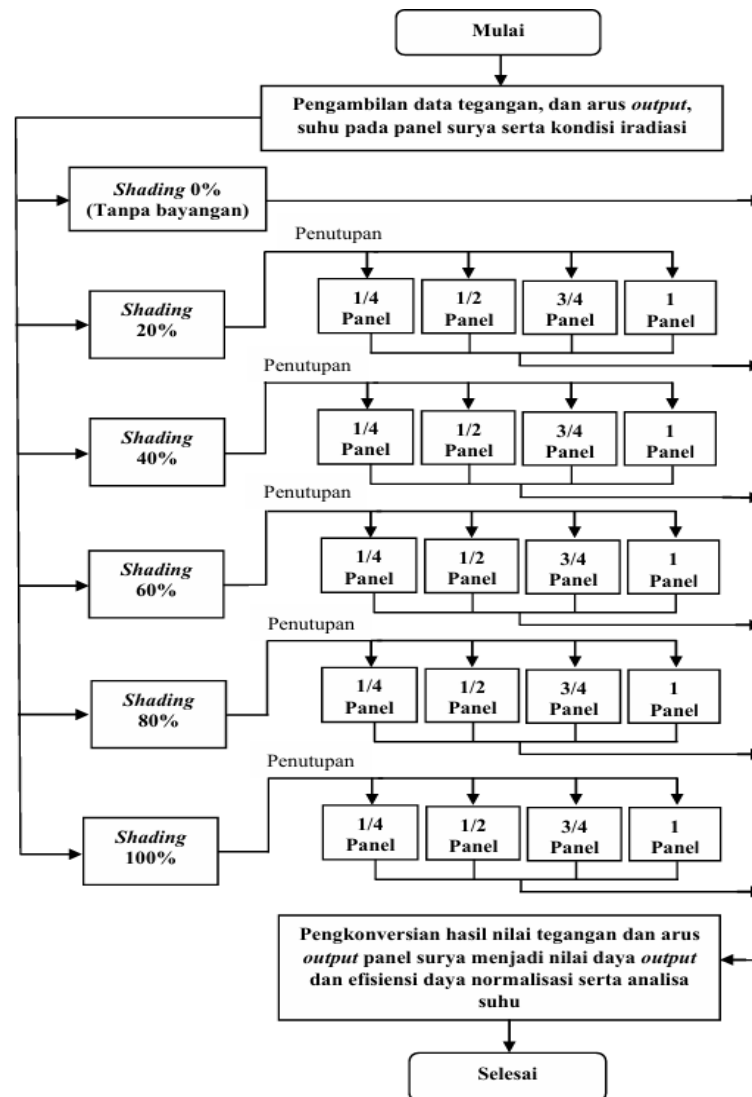
Pada Gambar 3.10 merupakan variasi tingkat kegelapan kaca film yang diketahui dengan nilai persentase. Nilai persentase pada kaca film tersebut merupakan tingkat nilai kegelapan, semakin besar nilai persentasenya maka semakin gelap. Tingkat variasi kegelapan yang digunakan yaitu 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% sedangkan pada persentase 0% merupakan keadaan pada saat kondisi tidak ada *shading* atau normal.



Gambar 3.11 Klasifikasi kegelapan *Shading* pada panel surya

Pada *shading* cahaya matahari yang tertutup oleh suatu objek seperti dahan dedaunan pohon atau pun bangunan serta kotoran yang menempel pada panel surya dapat menyebabkan *shading*. Dari berbagai *shading* tersebut terdapat perbedaan kegelapan jika dilihat secara langsung dengan mata seperti pada Gambar 2.9 terlihat bahwa *shading* pada panel yang disebabkan oleh dahan dedaunan pohon tidak segelap *shading* yang disebabkan oleh bangunan serta *shading* utuh yang disebabkan oleh kotoran yang menempel langsung pada permukaan panel itu sendiri. Pada *shading* yang terjadi panel surya memiliki kegelapan yang berbeda dan juga posisi penutupan yang berbeda tergantung dari objek yang menghalanginya akan tetapi dari *shading* tersebut tidak ada pengkategorian dari tingkat kegelapan serta posisi penutupannya.

Pada penelitian ini maka untuk merepresentasikan agar dapat mendekati hal tersebut dapat diterapkan melalui *solar protection film* dengan tingkat variasi kegelapan seperti pada Gambar 3.11 merupakan bentuk pengklasifikasian tingkat kegelapan *shading* yang terjadi pada panel surya yaitu transparansi kegelapan 20% sebagai representasi *shading* dari daun pohon yang tipis, transparansi kegelapan 40% sebagai representasi *shading* dari dahan pohon yang rindang, transparansi kegelapan 60% sebagai representasi *shading* dari batang pohon yang tebal, dan transparansi kegelapan 80% sebagai representasi *shading* dari objek bangunan rumah yang padat dan kokoh serta pada bagian *shading* dengan tingkat transparansi kegelapan 100% disebabkan oleh kotoran burung yang menempel atau menghalangi panel surya. Serta untuk pengkategorian posisi penutupan dilakukan dengan penggolongan penutupan panel dengan *shading* menutupi panel sebesar $\frac{1}{4}$ panel, $\frac{1}{2}$ panel, $\frac{3}{4}$ panel, dan 1 panel. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan metode pengkategorian *shading* dengan mengamati hasil *output*-nya seperti tegangan dan arus serta kondisi suhu permukaan panel setiap bagiannya beserta iradiasi pada setiap jam, kemudian hasil *output*-nya seperti tegangan dan arus dikalkulasikan dengan menggunakan Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.2) untuk mengetahui seberapa besar pengaruh setiap tingkatan kegelapan serta penutupan *shading* terhadap daya *output* dan efisiensi daya normalisasi yang dihasilkan oleh panel surya *solar tracking dual axis system*. Pada Gambar 3.12 merupakan diagram blok alur pengambilan data pada penelitian yang dilakukan, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.12 Diagram blok pengambilan data

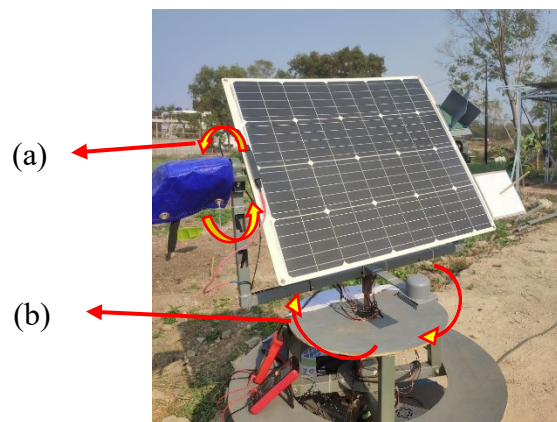
Pengukuran suhu dilakukan dengan mengukur setiap bagian panel surya yang terkena *shading* dan yang tidak terkena *shading*. Pada pengamatan suhu dilakukan dua pengukuran yaitu pengukuran suhu panel atau pengukuran suhu pada permukaan panel surya yang tidak tertutup *shading* dengan *solar protection film* serta suhu kaca film atau suhu pada permukaan panel yang tertutupi oleh *solar protection film*, pengamatan suhu ini bertujuan untuk menganalisis apakah *shading* dapat mempengaruhi penurunan suhu dan hasil daya *output* dan efisiensi daya normalisasi panel surya dengan iradiasi yang didapat dengan dilakukan perbandingan suhu panel dan suhu kaca film yang didapat, serta mengamati seberapa besar pengaruh yang terjadi pada hasil *output* akibat dampak dari perubahan suhu.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Eksperimen Alat

Pada penelitian ini yaitu melakukan pengujian pada panel surya *solar tracking dual axis system* dengan melakukan pengamatan terhadap daya serta efisiensi yang dihasilkan akibat pengaruh *shading* dengan variasi kegelapan yang berbeda menggunakan *solar protection film*. Pada saat pengujian dilakukan panel surya *solar tracking dual axis system* ini menggunakan jenis panel surya *monocrystalline* dengan kapasitas daya 85 WP yang dipasangkan pada rangka besi yang dapat berputar. Pada saat sistem penggeraknya panel surya *solar tracking dual axis system* diaktifkan *Light Dependent Resistor* (LDR) mengirimkan posisi cahaya matahari terkuat menuju *microcontroller* Arduino Mega 2560 yang diproses untuk memasuki motor *driver* yang mengatur motor *stepper* yang membuat posisi panel surya dapat mengarah tepat dititik posisi matahari itu berada seperti Gambar 4.1.

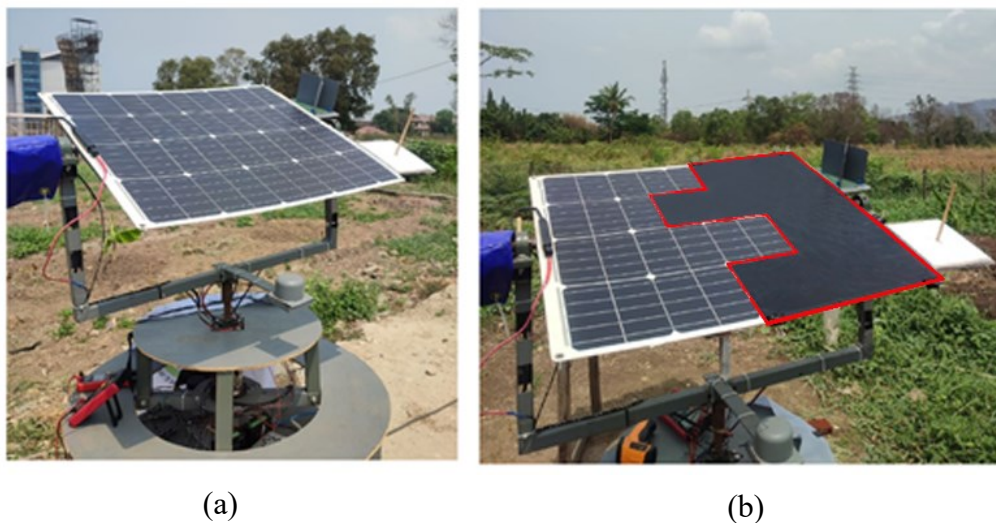


Gambar 4.1 Visualisasi *solar tracking dual axis system*, (a) Rotasi sudut *altitude* sebesar 270° , (b) Rotasi sudut *azimuth* sebesar 360°

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa panel surya *solar tracking dual axis system* tepat mengarah dititik posisi matahari itu berada. Sistem pada panel surya bekerja. Pada eksperimen alat ini dapat dikatakan berhasil dengan sistem yang bekerja dan dapat berfungsi.

4.2. Eksperimen *Shading*

Eksperimen *shading* dilakukan pada saat panel surya *solar tracking dual axis system* diaktifkan dengan menggunakan berbagai jenis *shading* dengan variasi kegelapan dan penutupan yang berbeda. Pengujian *shading* dilakukan beberapa pengamatan yang memiliki variabel yang berbeda dengan masing-masing variasi kegelapan dan penutupan didalamnya dengan menggunakan *solar protection film*. Proses pengujian *shading* meliputi beberapa pengamatan, yaitu: Pengamatan iradiasi dan suhu, pengamatan daya, serta pengamatan efisiensi.



Gambar 4.2 Eksperimen *shading* panel surya, (a) Eksperimen *shading* 0%, (b) Eksperimen *shading* 80% penutupan $\frac{1}{2}$ Panel

Pada Gambar 4.2 merupakan salah satu kondisi pada saat eksperimen *shading* dilakukan. Eksperimen *shading* dilakukan dengan kondisi yang berbeda yaitu dengan permukaan yang tertutup *shading* dan permukaan yang tidak tertutup, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 (a) merupakan kondisi pada saat permukaan panel surya tidak tertutup *shading*, sedangkan pada Gambar 4.2 (b) merupakan kondisi saat permukaan panel surya tertutup oleh *shading*. Pada eksperimen *shading* yang dilakukan ini untuk melihat seberapa besar pengaruh *shading* terhadap kinerja panel surya untuk menghasilkan *output*. Eksperimen ini dilakukan guna melihat perbandingan *output* yang dihasilkan oleh panel surya *solar tracking dual axis system* pada saat kondisi tersebut dengan penerapan *shading* seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.

Eksperimen yang dilakukan menggunakan *solar protection film* dengan berbagai variasi kegelapan untuk merepresentasikan *shading* yang terjadi pada saat panel surya *solar tracking dual axis system* mengalami kondisi terkena *shading*. Pada Gambar 4.2 (b) merupakan salah satu kondisi pada saat eksperimen *shading* dengan kondisi panel surya *solar tracking dual axis system* tertutup. Eksperimen *shading* dengan kondisi permukaan panel surya tertutup oleh *shading* yang telah dilakukan ini menggunakan variasi kegelapan, dengan kegelapan: 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%, serta dengan penutupan panel surya dengan bagian: $\frac{1}{4}$ panel, $\frac{1}{2}$ panel, $\frac{3}{4}$ panel, dan 1 panel, dari pengamatan yang dilakukan yaitu dengan melihat dari masing-masing variasi kegelapan serta dipadukan dengan posisi penutupan yang berbeda memperlihatkan hasil yang berbeda.

Pada hasil dari pengujian *shading* ini akan diproses dengan kalkulasi serta teori dengan sumber yang terpercaya, selanjutnya dari hasil tersebut dapat didapatkan kesimpulan. Pada pengujian *shading* ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar efek yang ditimbulkan oleh *shading* pada panel surya *solar tracking dual axis system* terhadap pengaruh iradiasi, suhu, daya dan efisiensi. Pengujian *shading* ini dengan tujuan yang telah dijelaskan sebelumnya dengan hasil yang didapat tersebut akan mengetahui seberapa baik hasil yang didapatkan serta hal tersebut dapat mengetahui sejauh mana efek *shading* dapat mempengaruhi kinerja dari *solar tracking dual axis system*.

Dalam pengujian *shading* ini hampir seluruh pengujian yang diterapkan pada panel surya *solar tracking dual axis system* menggunakan *solar protection film* sebagai media yang merepresentasikan tingkat kegelapan *shading* tersebut. Pada pengujian ini terdapat satu bagian yang tidak menggunakan *solar protection film*, yaitu pada bagian kegelapan *shading* 0%, hal itu dilakukan untuk mengetahui hasil dari kinerja panel surya *solar tracking dual axis system* saat kondisi tanpa *shading*. Dari pengujian yang dilakukan ini data yang didapat disajikan dalam bentuk grafik sehingga dapat terlihat alur perubahan yang tampak jelas perbedaannya, dengan beberapa perbandingan data yang ada maka dapat diamati perbedaannya sehingga dapat dibandingkan pada setiap variabel dan variasi dari kegelapan serta penutupan pada pengujian *shading* yang dilakukan ini. Berikut merupakan beberapa pengamatan pada pengujian *shading*:

4.2.1. Pengamatan Iradiasi dan Suhu

Pengamatan ini dilakukan untuk mengamati serta mengetahui efek yang ditimbulkan oleh setiap *shading* pada dengan mengukur suhu panel dan suhu kaca film pada setiap variasi kegelapan dan penutupan pada panel surya yang mendapatkan iradiasi matahari. Pengamatan iradiasi dilakukan dengan menggunakan *pyranometer* serta untuk suhu menggunakan *Thermogun*. Pada hasil pengujian dapat dilihat sebagai berikut:

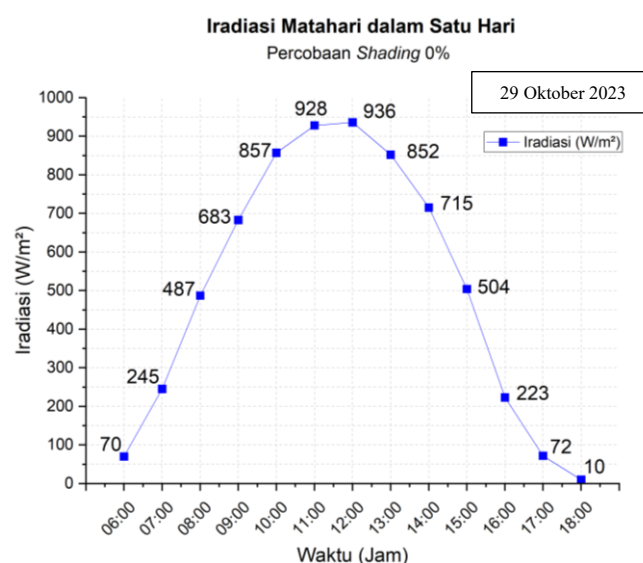
1. Kegelapan *shading* 0%

Pada penggambaran kondisi pengamatan *shading* 0% dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini, yaitu sebagai berikut:

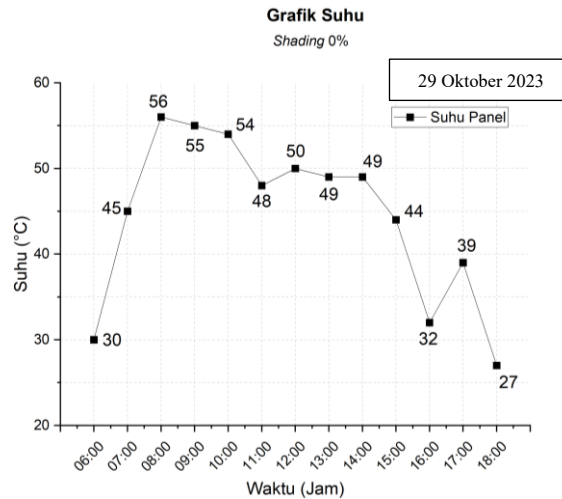


Gambar 4.3 Kondisi panel surya kegelapan *shading* 0%

Pengamatan *shading* 0% ini terdapat hasil dalam bentuk grafik, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.4 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen *Shading* 0%

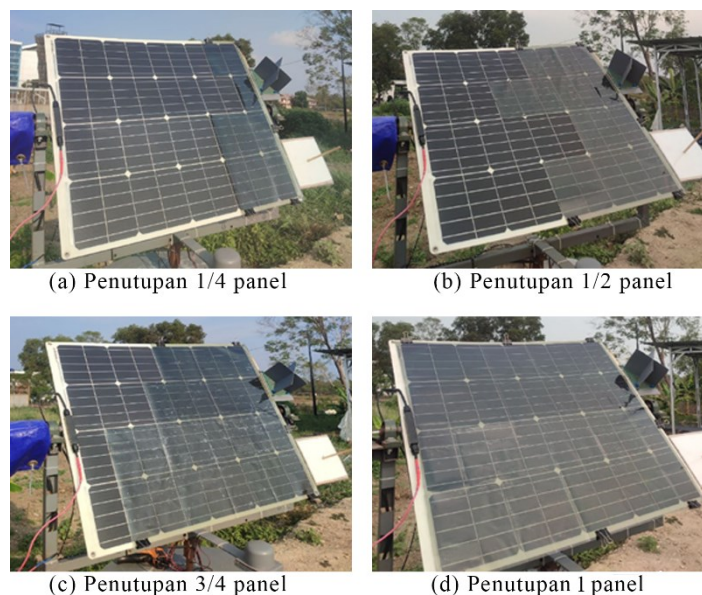


Gambar 4.5 Grafik Suhu Panel Eksperimen *Shading* 0%

Pada Gambar 4.4 grafik iradiasi eksperimen *shading* 0% terlihat iradiasi dari waktu ke waktu menunjukkan peningkatan dengan titik tertinggi 936 W/m² pada jam 12.00 serta penurunan sesuai dengan kondisi sinar matahari. Pada Gambar 4.5 grafik suhu panel eksperimen *shading* 0% menunjukkan peningkatan dan penurunan yang fluktuatif, seperti peningkatan pada jam 08.00 dengan suhu 56°C serta penurunan pada jam 16.00 dengan suhu 32°C diakibatkan oleh faktor eksternal seperti suhu lingkungan yang tertera pada Tabel A.1.

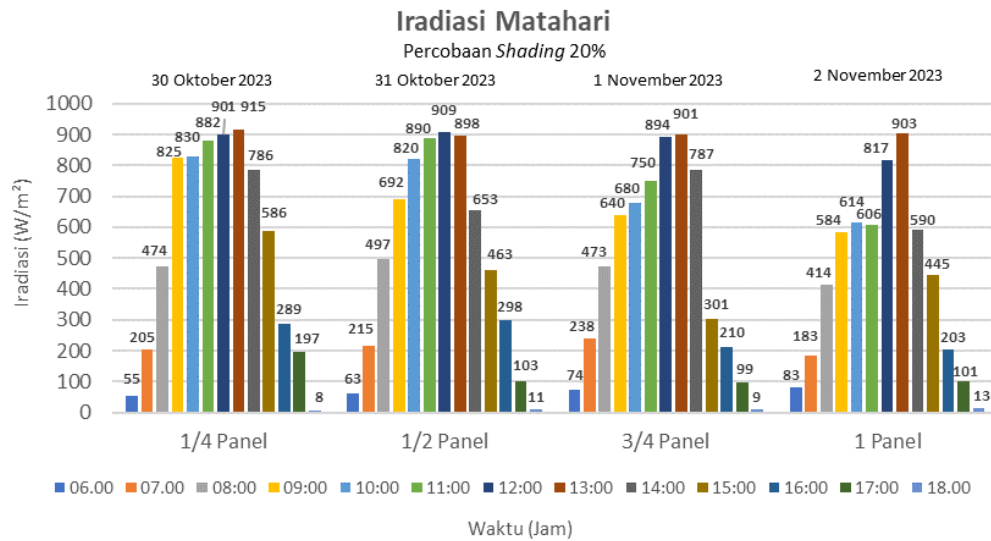
2. Kegelapan *shading* 20%

Pada kondisi pengamatan *shading* 20% dapat dilihat pada Gambar 4.6.

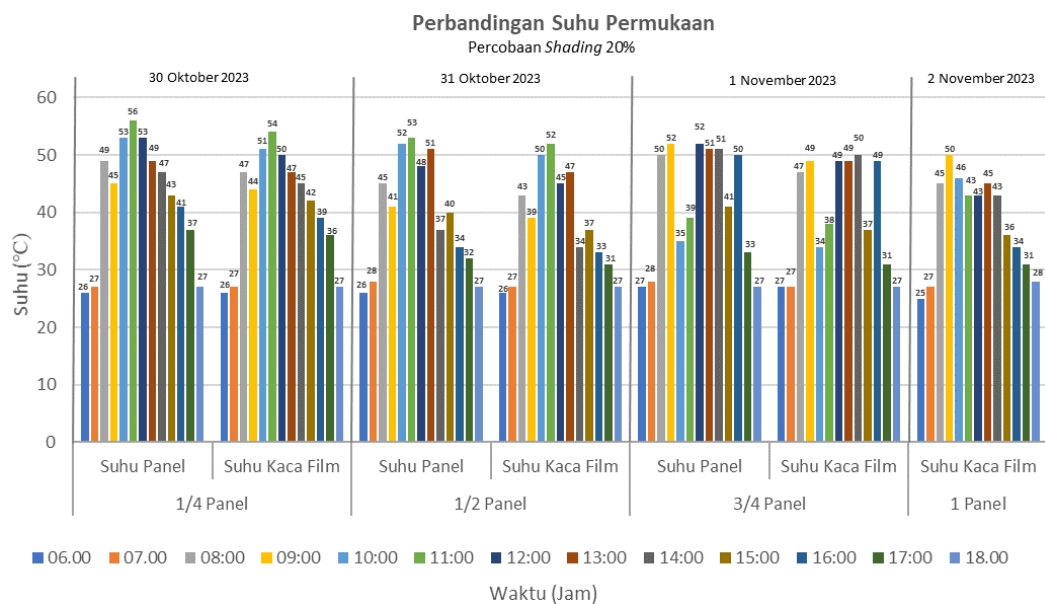


Gambar 4.6 Kondisi panel surya kegelapan *shading* 20%, (a) Penutupan 1/4 panel, (b) Penutupan 1/2 panel, (c) Penutupan 3/4 panel, (d) Penutupan 1 panel

Pengamatan *shading* 20% ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.7 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen *Shading* 20%



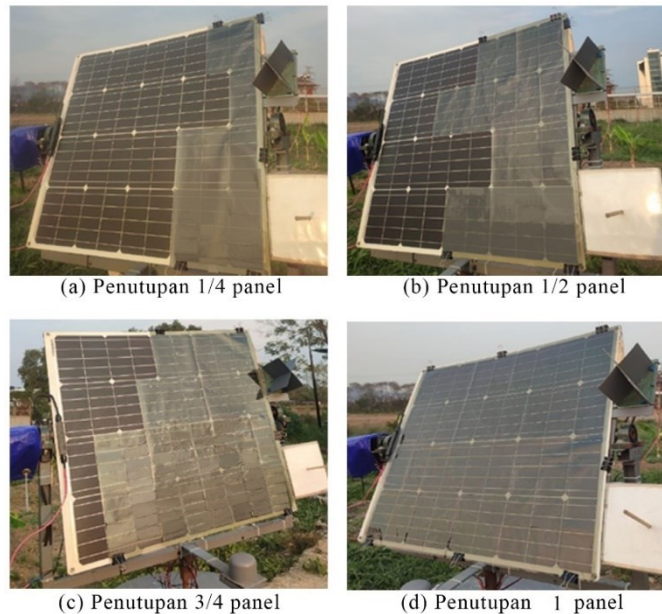
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen *Shading* 20%

Pada Gambar 4.7 grafik iradiasi matahari eksperimen *shading* 20% hasil sesuai dengan kondisi matahari pada setiap waktunya dengan iradiasi paling tinggi sebesar 915 W/m^2 pada jam 13.00 tanggal 30 Oktober 2023. Pada Gambar 4.8 grafik perbandingan suhu permukaan eksperimen *shading* 20% menunjukkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan bagian panel yang tidak tertutup tersebut seperti pada 11.00 tanggal 30 Oktober 2023 suhu panel 56°C sedangkan suhu kaca film 54°C . Pada eksperimen ini iradiasi tidak mempengaruhi secara langsung suhu

pada panel akan tetapi yang mempengaruhi secara langsung perubahan suhu yaitu penggunaan kaca film, suhu lingkungan yang tertera pada Tabel A.2 s.d. Tabel A.5.

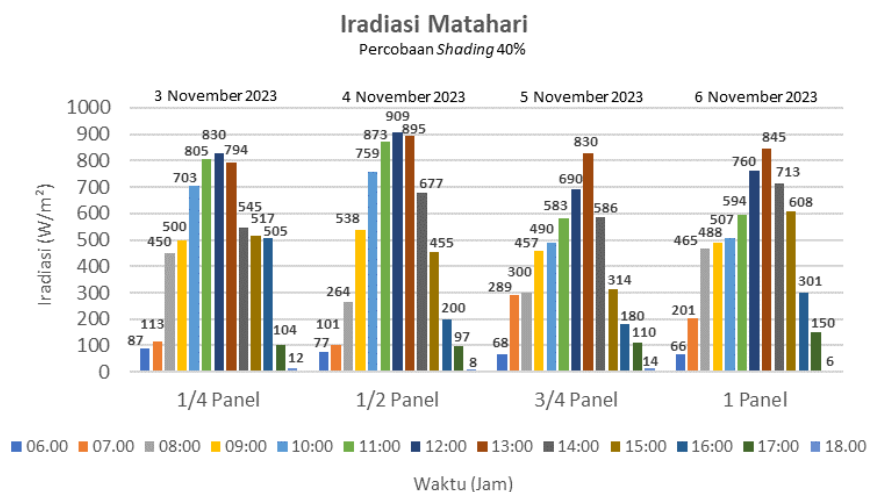
3. Kegelapan *Shading* 40%

Pada kondisi pengamatan *shading* 40% dapat dilihat pada Gambar 4.9.

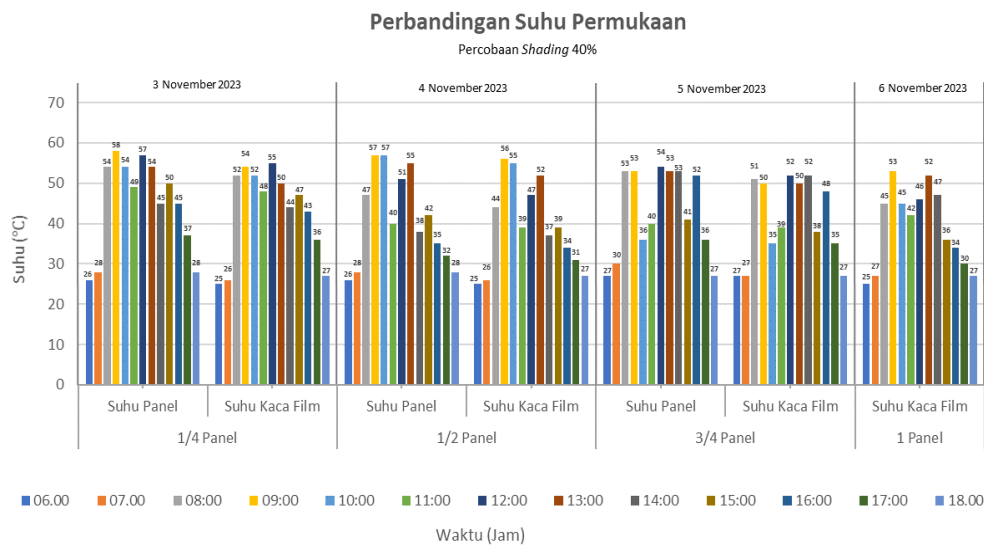


Gambar 4.9 Kondisi panel surya kegelapan shading 40%, (a) Penutupan $\frac{1}{4}$ panel, (b) Penutupan $\frac{1}{2}$ panel, (c) Penutupan $\frac{3}{4}$ panel, (d) Penutupan 1 panel

Pada pengamatan *shading* ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik Iradiasi Eksperimen *Shading* 40%

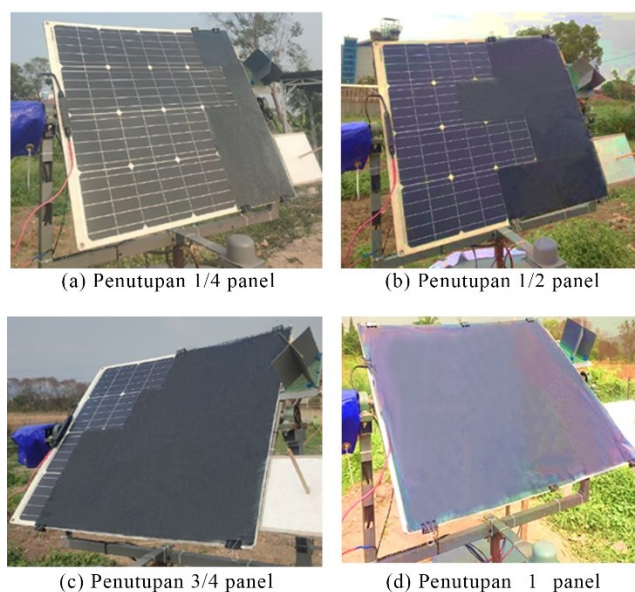


Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen *Shading* 40%

Pada Gambar 4.10 adalah hasil iradiasi eksperimen *shading* 40%, hasil menunjukan kesesuaian setiap waktunya dengan iradiasi paling tinggi sebesar 909 W/m² pada jam 12.00 tanggal 4 November 2023. Gambar 4.11 hasil perbandingan suhu panel dan kaca film menunjukan hasil yang tidak begitu jauh akibat suhu lingkungan yang tertera pada Tabel A.6 s.d. Tabel A.9, seperti pada 09.00 tanggal 3 November 2023 suhu panel 58°C sedangkan suhu kaca film 54°C.

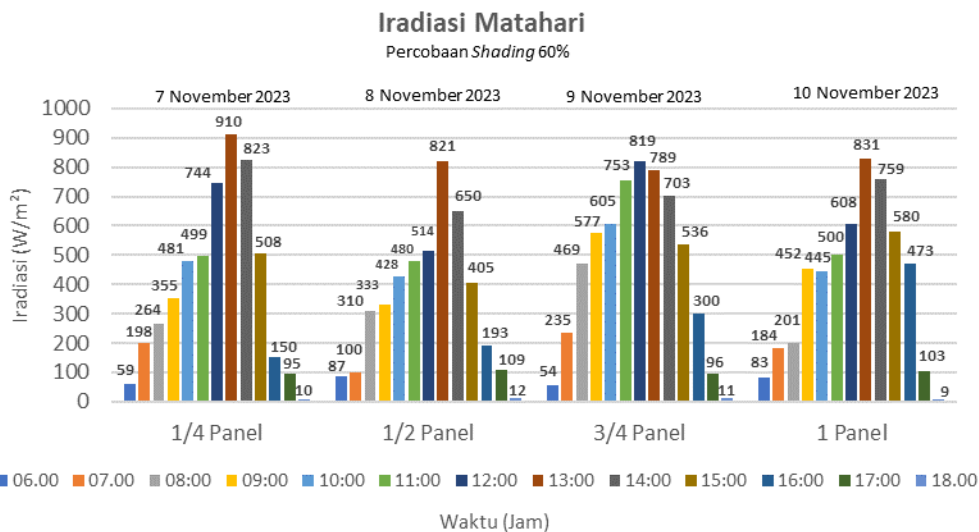
4. Kegelapan *Shading* 60%

Pada kondisi pengamatan *shading* 60% dapat dilihat pada Gambar 4.12.

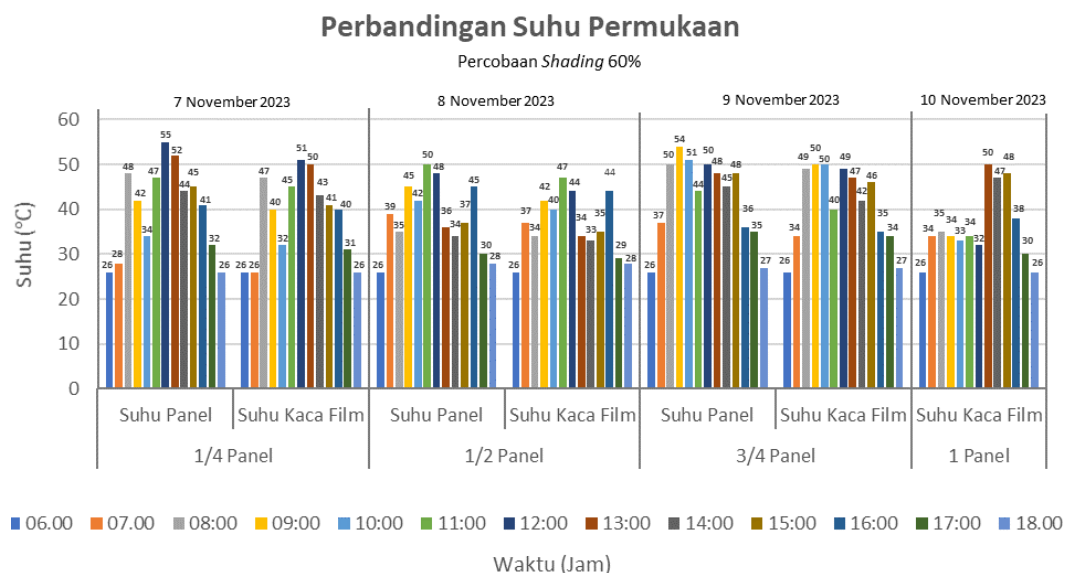


Gambar 4.12 Kondisi panel surya kegelapan *shading* 60%, (a) Penutupan 1/4 panel, (b) Penutupan 1/2 panel, (c) Penutupan 3/4 panel, (d) Penutupan 1 panel

Pada pengamatan *shading* ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.13 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen *Shading* 60%



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen *Shading* 60%

Pada iradiasi Gambar 4.13 hasil iradiasi pada setiap penutupan menunjukan pola fluktuatif, dengan iradiasi paling tinggi sebesar 910 W/m^2 pada jam 13.00 tanggal 7 November 2023 hasil sesuai kondisi cerah matahari. Gambar 4.14 terlihat perbedaan suhu tertinggi yaitu pada bagian penutupan $\frac{1}{4}$ panel pada jam 12.00, sebesar 55 $^{\circ}\text{C}$ dan 51 $^{\circ}\text{C}$ antara suhu panel dan suhu kaca film. Pada eksperimen ini hubungan iradiasi tidak mempengaruhi secara langsung, suhu lingkungan yang mempengaruhi suhu permukaan panel surya yang tertera pada Tabel A.10 s.d. A.13.

5. Kegelapan *Shading* 80%

Pada kondisi pengamatan *shading* 80% dapat dilihat pada Gambar 4.15.



(a) Penutupan 1/4 panel



(b) Penutupan 1/2 panel



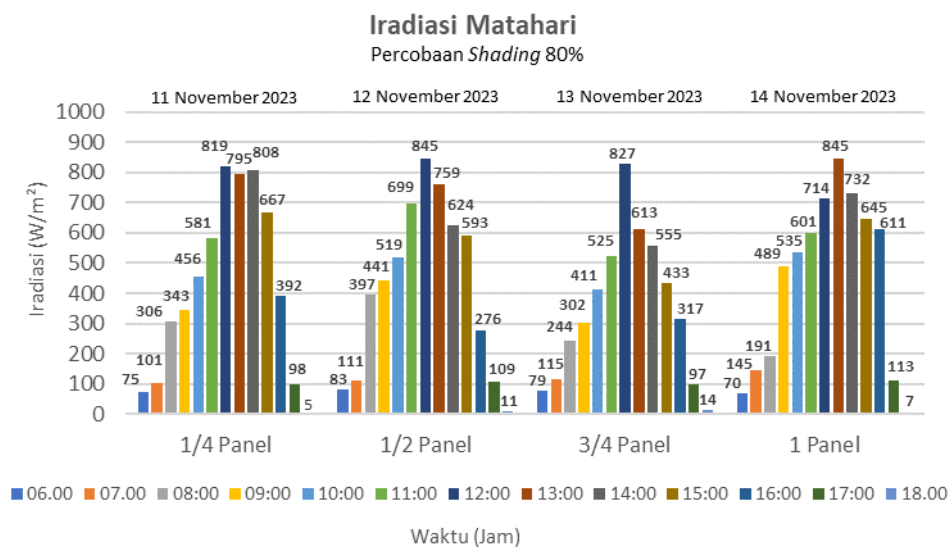
(c) Penutupan 3/4 panel



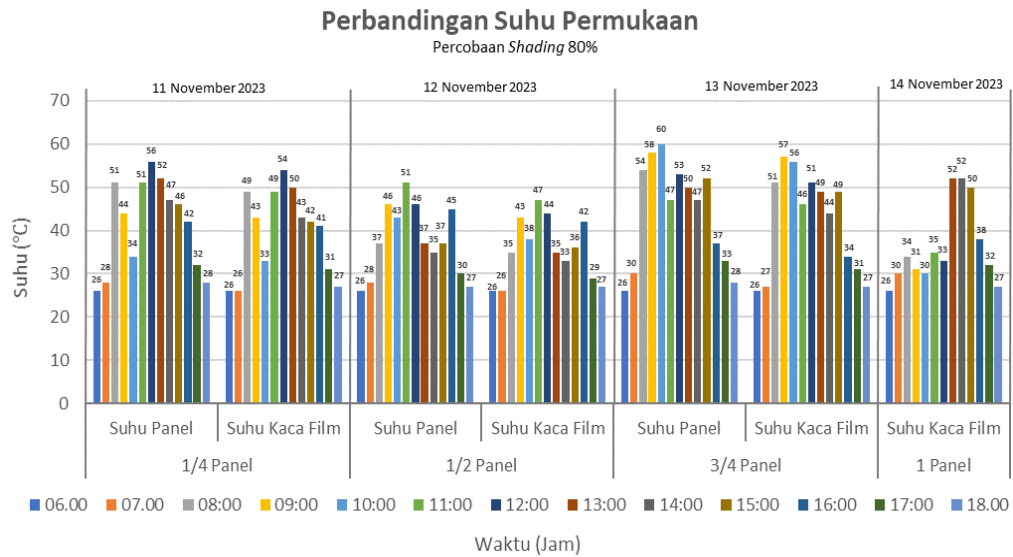
(d) Penutupan 1 panel

Gambar 4.15 Kondisi panel surya kegelapan shading 80%, (a) Penutupan 1/4 panel, (b) Penutupan 1/2 panel, (c) Penutupan 3/4 panel, (d) Penutupan 1 panel

Pada pengamatan *shading* ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.16 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen *Shading* 80%

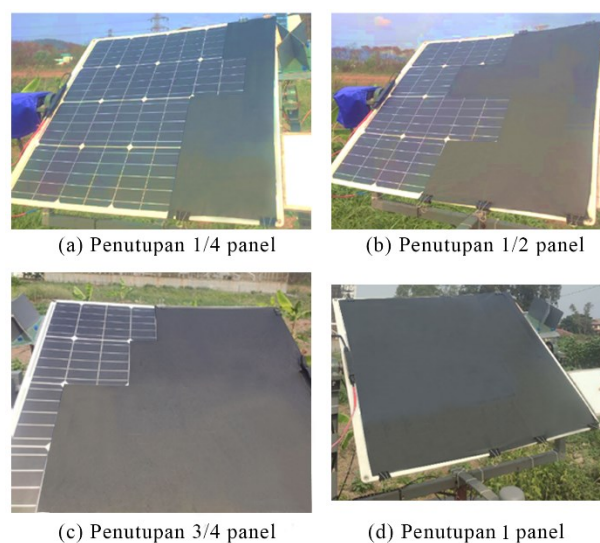


Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen *Shading* 80%

Pada Gambar 4.16 grafik iradiasi yang fluktuatif dikarenakan kondisi cahaya matahari pada saat itu, dengan iradiasi paling tinggi sebesar 945 W/m^2 pada jam 12.00 tanggal 12 November 2023. Perbandingan suhu pada Gambar 4.17 terlihat fluktuatif serta perubahan selisih suhu panel dan suhu kaca film terdapat nilai yang bertambah, salah satunya pada posisi $\frac{1}{2}$ panel pada jam 11.00 selisih suhu mencapai 4°C , hal tersebut dipengaruhi oleh suhu lingkungan yang tertera pada Tabel A.14 s.d. Tabel A.17.

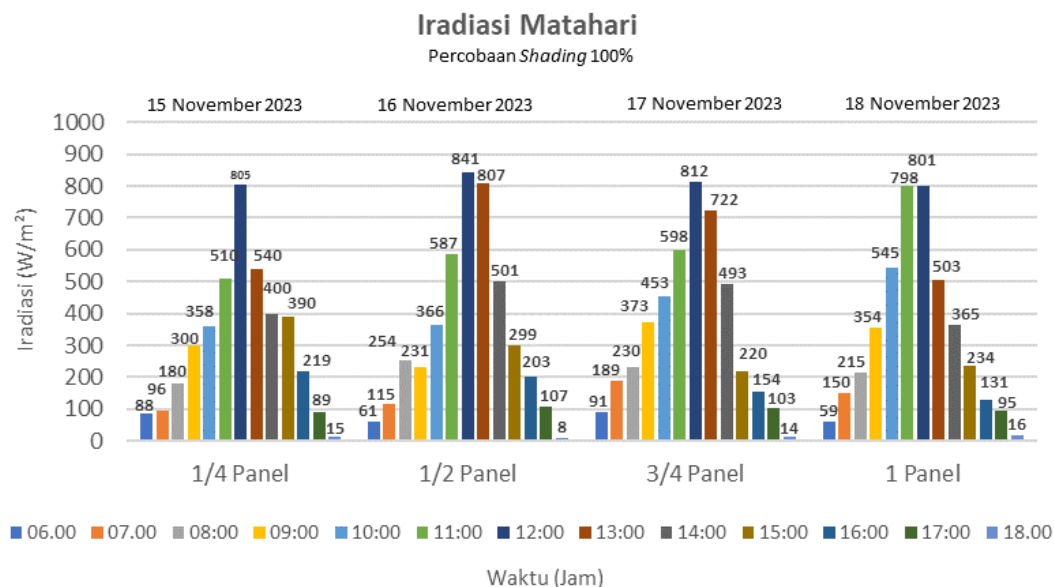
6. Kegelapan *Shading* 100%

Pada kondisi pengamatan *shading* 100% dapat dilihat pada Gambar 4.18.

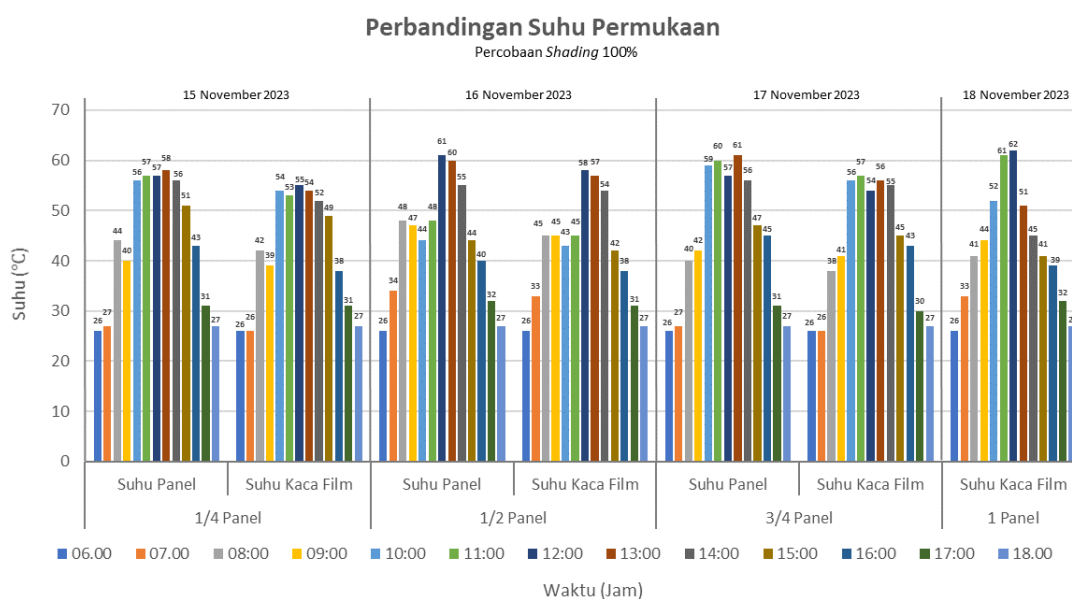


Gambar 4.18 Kondisi panel surya kegelapan *shading* 100%, (a) Penutupan $\frac{1}{4}$ panel, (b) Penutupan $\frac{1}{2}$ panel, (c) Penutupan $\frac{3}{4}$ panel, (d) Penutupan 1 panel

Pada pengamatan *shading* ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.19 Grafik Iradiasi Matahari Eksperimen *Shading* 100%



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Suhu Permukaan Eksperimen *Shading* 100%

Grafik iradiasi pada Gambar 4.19 menampilkan hasil yang fluktuatif yang tidak begitu jauh serta sesuai dengan kondisi cerah dengan iradiasi paling tinggi sebesar 841 W/m^2 pada jam 12.00 tanggal 16 November 2023. Pada grafik suhu Gambar 4.20 terlihat suhu perbandingan panel dan kaca film memiliki tingkat yang berbeda pada posisi $\frac{1}{2}$ panel pada jam 12.00 selisih suhu mencapai 3°C , sebesar 61°C dan 58°C antara suhu panel dan suhu kaca film. Pada eksperimen ini iradiasi

tidak mempengaruhi secara langsung suhu permukaan panel yang tertutup kaca film dan yang tidak tertutup *shading* dikarenakan saat dilakukan eksperimen faktor yang mempengaruhi perubahan suhu panel surya yaitu suhu lingkungan, yang tertera pada Tabel A.18 s.d. Tabel A.21.

Pada pengamatan iradiasi terhadap suhu pada setiap eksperimen kegelapan *shading* menunjukkan hasil yang fluktuatif pada variabel iradiasi maupun suhu. Faktor yang mempengaruhi iradiasi adalah kondisi penyinaran matahari pada hari dimana eksperimen tersebut dilakukan. Faktor yang mempengaruhi suhu panel surya adalah kondisi lingkungan seperti besar kecilnya suhu lingkungan yang mempengaruhi panel surya pada saat eksperimen dilakukan dan hembusan angin yang membuat suhu permukaan yang tertutup *shading* maupun yang tidak tertutup *shading* menjadi turun.

Pada hasil suhu yang ditunjukkan pada setiap eksperimen *shading* dengan berbagai variasi kegelapan dan penutupan *solar protection film* menunjukkan perbedaan nilai terhadap permukaan panel surya antara permukaan yang tertutup *shading* dan permukaan yang tidak tertutup, hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.8, Gambar 4.11, Gambar 4.14, Gambar 4.17, dan Gambar 4.20, dari beberapa gambar tersebut keseluruhan nilai suhu yang dihasilkan pada permukaan panel surya yang tidak tertutup *shading* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai suhu permukaan yang tertutup dengan *shading* dengan media *solar protection film*. Pada perbedaan nilai suhu yang terjadi pada permukaan panel surya antara permukaan yang tertutup *shading* dan permukaan yang tidak tertutup dikarenakan pengaruh dari penggunaan *solar protection film* yang dapat menurunkan suhu pada bagian benda yang tertutupi tersebut sehingga hal tersebutlah yang dapat menyebabkan nilai suhu permukaan panel yang terkena *shading* lebih kecil dibandingkan dengan permukaan yang tidak tertutup. Dari pengamatan suhu tersebut dengan melihat nilai hasil perbandingan suhu yang didapat tersebut dapat dikatakan *shading* dapat mempengaruhi suhu permukaan panel surya.

Pengamatan suhu mendapatkan suatu hasil yang berbeda antara permukaan yang tertutup *shading* dan permukaan yang tidak tertutup pada panel surya *solar tracking dual axis system*. Pada eksperimen *shading* dengan berbagai variasi

kegelapan dan penutupan hasil suhu tersebut tidak mempengaruhi hasil dari daya *output*. Hasil eksperimen tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8, Gambar 4.11, Gambar 4.14, Gambar 4.17, dan Gambar 4.20, dimana pada beberapa gambar tersebut menunjukkan hasil suhu yang masih didalam kisaran batas nominal temperatur pengoperasian atau *Nominal Operating Cell Temperature* (NOCT) yang tertera pada spesifikasi panel surya 85 WP yang digunakan yaitu sekitar -45°C s.d. 80°C , dikarenakan suhu tidak melebihi batas nominal temperatur pengoperasian yaitu sekitar 25°C s.d. 61°C sehingga tidak mempengaruhi kinerja dari panel surya tersebut.

Eksperimen dilakukan pada setiap kegelapan memiliki kondisi yang berbeda dengan nilai hasil yang berbeda, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada setiap kegelapan *shading* 0%, 20%, 40%, 80%, dan 100%. Pada eksperimen kegelapan *shading* 0% salah satunya nilai iradiasi pada jam 11.00 mengalami peningkatan sebesar 926 W/m^2 tetapi nilai suhunya mengalami penurunan dengan nilai 48°C , hal tersebut juga terjadi pada *shading* lainnya salah satunya eksperimen kegelapan *shading* 20% pada penutupan $\frac{1}{4}$ panel iradiasi pada jam 08.00 sebesar 474 W/m^2 dengan suhu 49°C kemudian pada jam 09.00 iradiasi sebesar 825 W/m^2 tetapi nilai suhunya 45°C dan selanjutnya pada jam 10.00 iradiasi sebesar 830 W/m^2 suhu kembali meningkat menjadi 53°C . Hasil data yang fluktuaktif tersebut terjadi pada setiap eksperimen kegelapan *shading* dengan berbagai posisi penutupan.

Pada eksperimen kegelapan *shading* dengan berbagai posisi penutupan iradiasi tidak mempengaruhi secara langsung suhu permukaan panel surya, tetapi terdapat faktor yang dapat merubah nilai dari suhu permukaan panel surya tersebut. Faktor yang mempengaruhi nilai suhu menjadi fluktuaktif adalah suhu lingkungan dan angin yang mempengaruhi panel surya. Sehingga besar kecilnya suhu lingkungan adalah faktor penyebab hal itu terjadi yang menyebabkan perubahan nilai suhu panel surya menjadi tidak konstan atau fluktuaktif sehingga faktor eksternal yang menjadi penyebab hal tersebut terjadi.

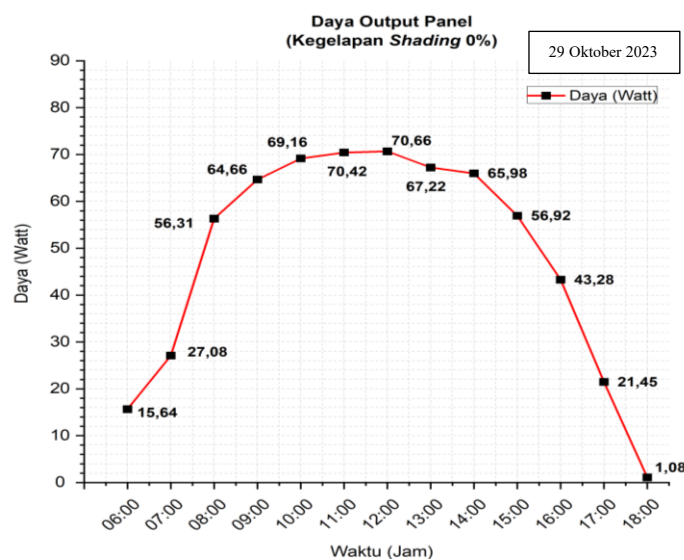
4.2.2 Pengamatan Daya dan Efisiensi

Pengamatan daya dan efisiensi bertujuan untuk mengetahui seberapa besar daya dan efisiensi yang didapat pada setiap eksperimen *shading* dengan berbagai

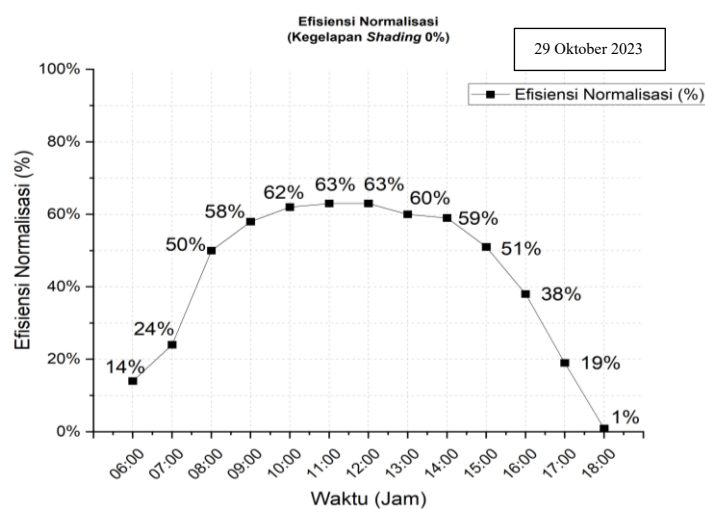
kegelapan serta penutupan pada panel surya *solar tracking dual axis system*. Pengamatan dilakukan dengan berbagai variabel kegelapan *shading* serta posisi penutupan pada setiap jam dengan menggunakan alat ukur *multimeter* untuk mengukur arus dan tegangan kemudian hasil dikalkulasikan dengan Persamaan (2.1) untuk mengetahui daya *output* yang dihasilkan dan dikalkulasikan dengan Persamaan (2.2) untuk mengetahui efisiensi daya normalisasi. Pada hasil pengamatan dapat dilihat sebagai berikut:

1. Pengamatan daya dan efisiensi *shading* 0%

Pada pengamatan ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.21 Grafik Daya *Output* Panel Kegelapan *Shading* 0%

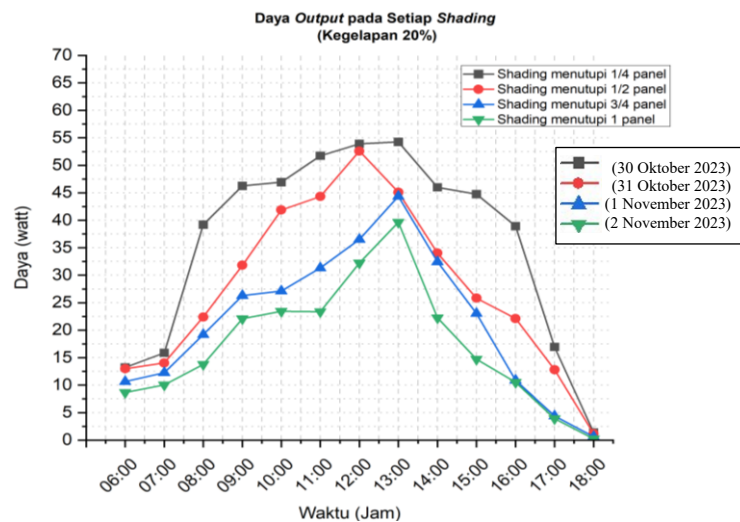


Gambar 4.22 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi Kegelapan *Shading* 0%

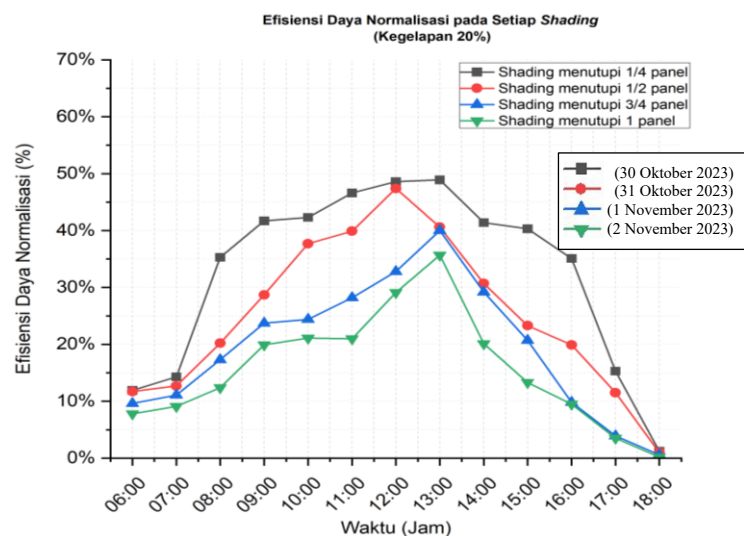
Pada grafik daya *output* Gambar 4.21 diperoleh dengan Persamaan (2.1) bahwa hasil daya terdapat peningkatan, titik tertinggi daya *output* yang didapat yaitu pada jam 12.00 sebesar 70,77 Watt. Setelah dilakukan kalkulasi dengan Persamaan (2.2) didapat efisiensi pada Gambar 4.22 menunjukkan peningkatan efisiensi terbaik sebesar 63% pada jam 11.00 dan 12.00. Pengamatan memiliki hasil yang baik pada hasil daya *output* Gambar 4.21 dan efisiensi daya normalisasi pada Gambar 4.22 terdapat hubungan yang sesuai dengan iradiasi pada Gambar 4.4 grafik iradiasi matahari eksperimen shading 0%.

2. Pengamatan daya dan efisiensi *shading* 20%

Pada pengamatan ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.23 Grafik Daya Output Shading 20%

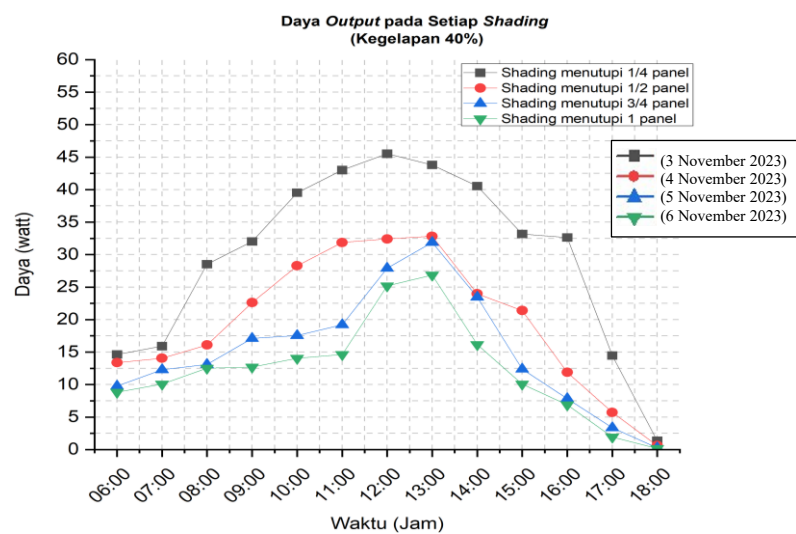


Gambar 4.24 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi Shading 20%

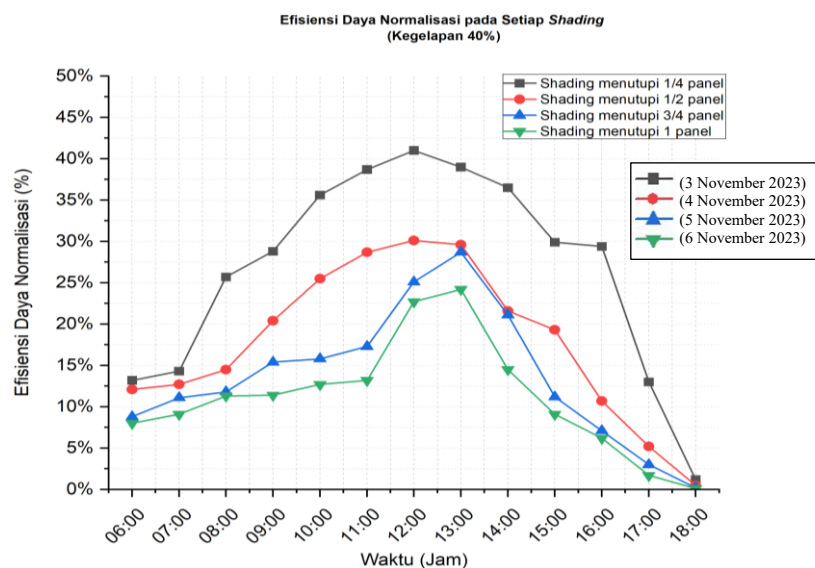
Terlihat Gambar 4.23 hasil daya *output* terlihat pada bagian waktu tertentu terdapat hasil yang fluktuatif hal ini disebabkan pengaruh dari iradiasi matahari yang didapat. Pada Gambar 4.24 diperoleh hasil efisiensi daya normalisasi yang menyatakan hasil persentase yang fluktuatif serta sesuai dengan iradiasi yang didapat pada Gambar 4.7 grafik iradiasi dengan dipengaruhi oleh penyinaran dari matahari, dengan titik tertinggi pada penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 13.00 dengan daya sebesar 54,25 Watt serta dengan efisiensi daya normalisasi sebesar 48,9%.

3. Pengamatan daya dan efisiensi *shading* 40%

Pada pengamatan ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.25 Grafik Daya Output Shading 40%

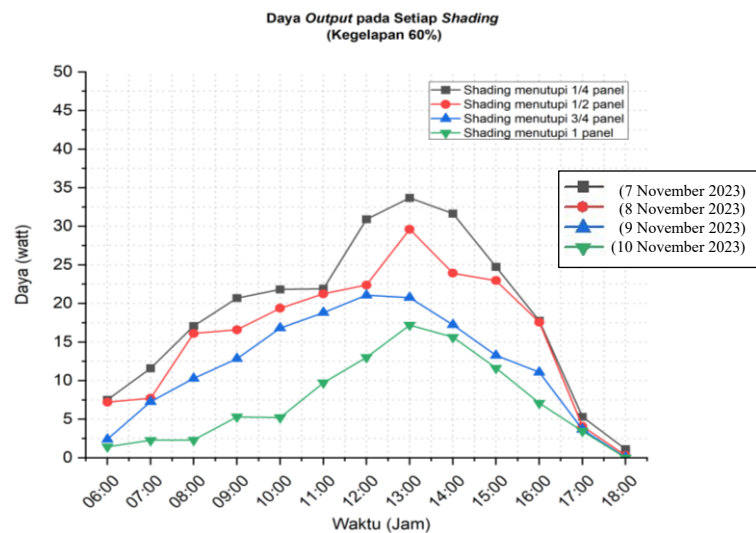


Gambar 4.26 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi Shading 40%

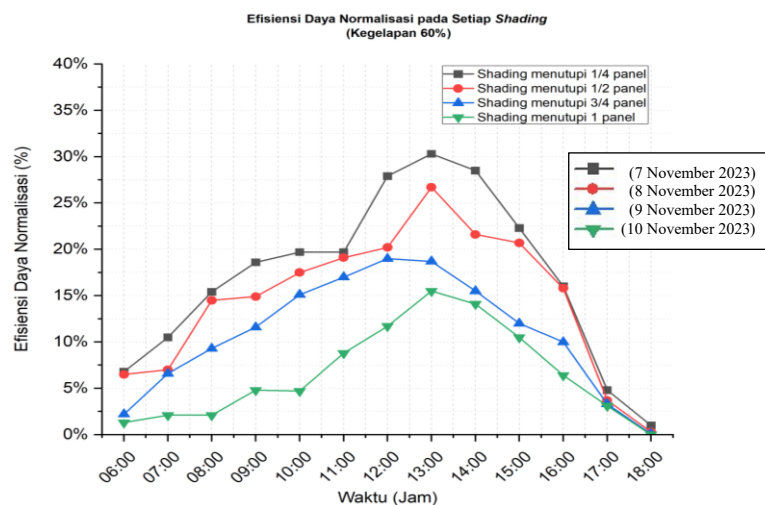
Pada Gambar 4.25 peningkatan dan penurunan hasil daya *output* yang berbeda dikarenakan data didapat dengan kondisi iradiasi berbeda. Pada Gambar 4.26 efisiensi juga memiliki peningkatan dan penurunan sama halnya seperti daya *output*. Hasil daya *output* dan efisiensi daya normalisasi peningkatan dan penurunannya dipengaruhi oleh iradiasi yang didapat pada Gambar 4.9, terdapat penurunan iradiasi dibagian waktu tertentu contohnya pada bagian penutupan $\frac{1}{2}$ panel pada jam 13.00 nilai iradiasi 895 W/m², daya *output* 32,81 Watt, dan efisiensi daya normalisasi 29,6% seketika pada jam 14.00 iradiasi 677 W/m², daya *output* 23,97 Watt dan efisiensi normalisasi 21,6%.

4. Pengamatan daya dan efisiensi *shading* 60%

Pada pengamatan ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.27 Grafik Daya Output Shading 60%

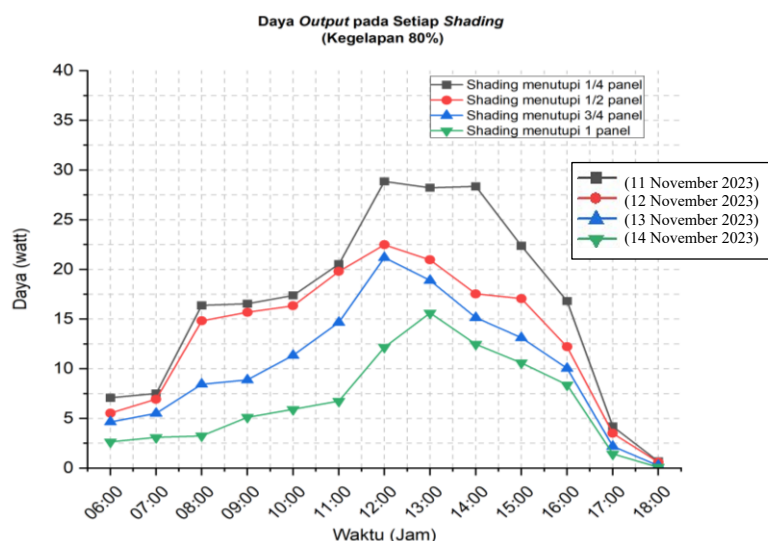


Gambar 4.28 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi Shading 60%

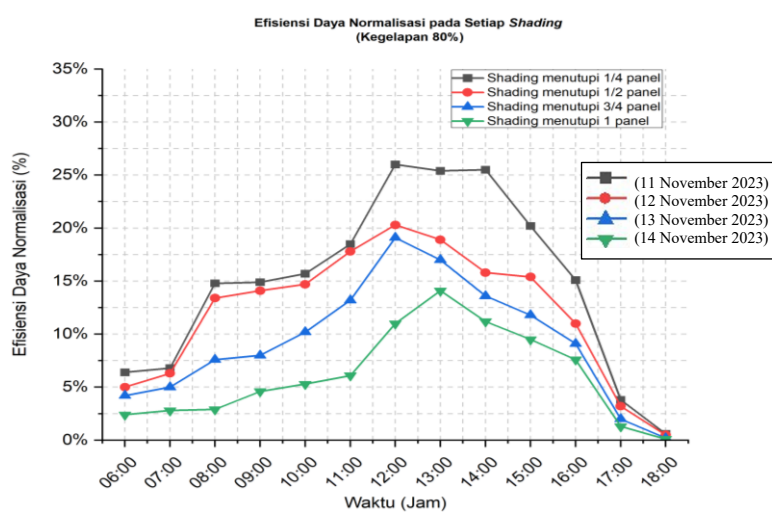
Daya *output* yang diperoleh pada Gambar 4.27 menunjukkan peningkatan dan penurunan yang konstan dipengaruhi oleh iradiasi sinar matahari. Pada Gambar 4.28 diperoleh persentase dengan nilai perolehan peningkatan dan penurunan yang konstan. Data yang diperoleh pada eksperimen kegelapan *shading* 60% dapat dikatakan konstan dengan titik tertinggi pada penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 13.00 dengan daya sebesar 33,68 Watt serta dengan efisiensi daya normalisasi sebesar 30,3%. Pada percobaan ini kegelapan *shading* dan penutupan yang semakin gelap dan besar menyebabkan hasil daya *output* dan efisiensi menjadi lebih kecil.

5. Pengamatan daya dan efisensi *shading* 80%

Pada pengamatan ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.29 Grafik Daya *Output Shading* 80%

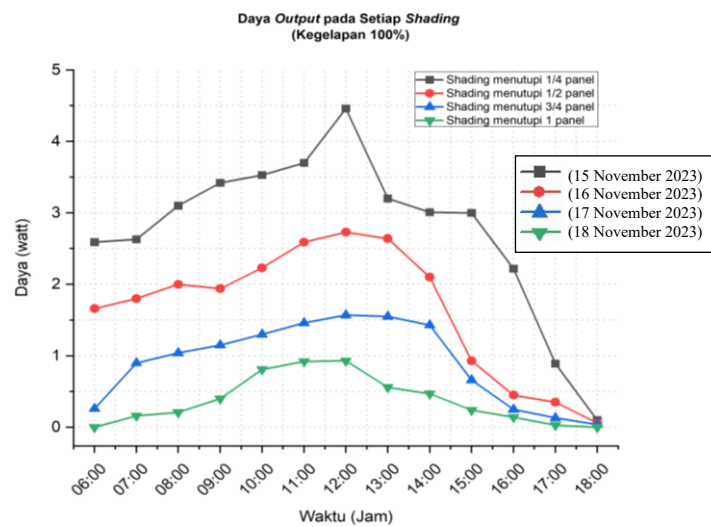


Gambar 4.30 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi *Shading* 80%

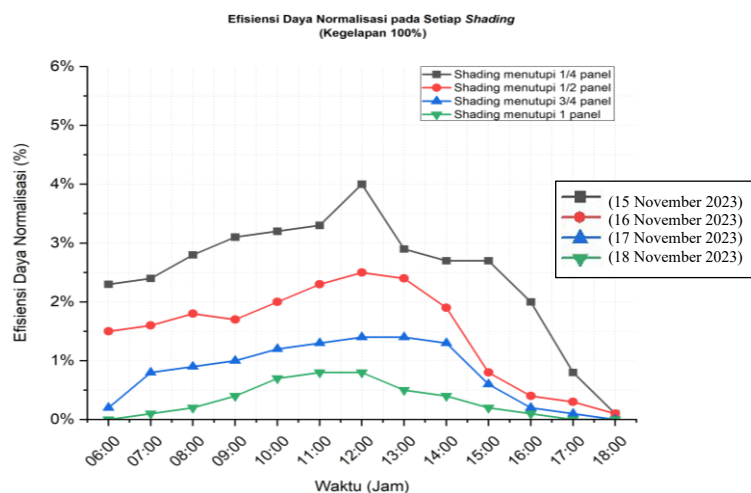
Pada Gambar 4.29 daya *output* yang diperoleh menampilkan hasil yang lebih kecil dari eksperimen *shading* sebelumnya, bahwa pengaruh kegelapan *shading* 80% dapat mempengaruhi hasil. Pada Gambar 4.30 memperlihatkan hasil persentase efisiensi daya normalisasi yang semakin kecil dengan variabel kegelapan *shading* 80% dengan penutupan yang semakin besar. Dari eksperimen kegelapan *shading* 80% titik tertinggi pada penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 12.00 dengan daya sebesar 28,87 Watt serta efisiensi daya normalisasi sebesar 26%, dari hasil yang semakin kecil ini bahwa pengaruh kegelapan *shading* yang semakin gelap dapat mempengaruhi hasil daya *output* dan efisiensi daya normalisasi.

7. Pengamatan daya dan efisiensi *shading* 100%

Pada pengamatan ini terdapat hasil data, yaitu sebagai berikut:



Gambar 4.31 Grafik Daya Output Shading 100%



Gambar 4.32 Grafik Efisiensi Daya Normalisasi Shading 100%
Grafik daya *output* pada Gambar 4.31 diperoleh hasil yang fluktuaktif

dengan nilai yang tidak begitu jauh sesuai dengan iradiasi yang didapat yang tertera pada Gambar 4.15. Pada Gambar 4.32 memperlihatkan nilai persentase efisiensi daya normalisasi dengan nilai yang paling kecil dibandingkan dengan persentase eksperimen *shading* sebelumnya, titik tertinggi pada penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 12.00 dengan daya sebesar hanya 4,46 Watt serta efisiensi daya normalisasi sebesar 4% saja. Eksperimen yang telah dilakukan ini memperlihatkan eksperimen *shading* 100% dengan tingkat kegelapan paling gelap sangat mempengaruhi dari hasil *output* panel surya menjadi sangat rendah, salah satunya terlihat pada posisi penutupan 1 panel dengan seluruh hasil efisiensi daya normalisasi dalam 1 hari bernilai 0%.

Daya *output* yang dihasilkan pada pengamatan panel surya *solar tracking dual axis system* merupakan hasil kalkulasi dengan menggunakan Persamaan (2.1), yaitu dengan mengkalikan tegangan sirkuit terbuka atau *open circuit voltage* (V_{oc}) dan arus hubung singkat atau *short circuit current* (I_{sc}). Hasil tegangan sirkuit terbuka pada panel surya *solar tracking dual axis system* merupakan tegangan yang dihasilkan tanpa beban atau tanpa *load* sehingga *output*-nya merupakan murni tegangan yang dihasilkan dari kinerja panel surya *solar tracking dual axis system*. Pada hasil arus hubung singkat pada panel surya ini adalah arus yang dihasilkan pada saat menghubungkan kedua rangkaian positif dan negatif menjadi satu. Pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan hasil tegangan sirkuit terbuka dan arus hubung singkat yaitu dengan menggunakan *digital clamp multimeter*, pada saat melakukan pengukuran tegangan sirkuit terbuka pengaturan pengukuran menggunakan sistem *multimeter* pada *digital clamp multimeter* dengan menggunakan kabel *probe*, saat melakukan pengukuran arus hubung singkat menggunakan sistem *clamp* atau penjepit. Dari hasil tegangan dan arus dilakukan kalkulasi Persamaan (2.1) untuk hasil daya *output* dan Persamaan (2.2) untuk hasil efisiensi daya normalisasi.

Pada data *output* tegangan yang dihasilkan menunjukan perubahan yang tidak terlalu besar dan nilainya tidak begitu jauh. Tegangan yang didapat tegangan sirkuit terbuka yang merupakan tegangan murni yang dihasilkan oleh panel surya tersebut, yang mempengaruhi perubahan nilai tegangan tersebut adalah intensitas iradiasi matahari atau penyinaran matahari yang didapatkan oleh panel surya

monocrystaline 85 WP. Dapat dilihat pada Lampiran B pada bagian Gambar B.1 terlihat rangkaian panel surya yang tersusun secara seri pada setiap selnya, pada gambar tersebut menunjukkan kondisi panel surya dalam keadaan tanpa *shading* sehingga panel surya mendapatkan radiasi matahari tanpa halangan menyebabkan *output* yang dihasilkan dapat dikatakan baik, seperti yang tertampil pada grafik daya *output* Gambar 4.21 dan efisiensi daya normalisasi Gambar 4.22. Pada kondisi penutupan $\frac{1}{4}$ panel pada Lampiran B pada Gambar B.2 terlihat *shading* menutupi 9 sel pada panel surya tersebut berdasarkan Perhitungan (A.1), dengan tertutupnya $\frac{1}{4}$ bagian panel surya menyebabkan *output* panel surya berkurang tetapi rangkaian masih dapat mengalirkan arus listrik yang berasal dari sebagian besar sel yang tidak tertutup. Penutupan $\frac{1}{2}$ panel pada Lampiran B pada Gambar B.3 terlihat *shading* menutupi 18 sel *output* panel surya yang dihasilkan mengecil sehingga rangkaian hanya mendapatkan arus listrik yang sesuai pada setengah bagian panelnya. Penutupan $\frac{3}{4}$ panel pada Lampiran B pada Gambar B.4 terlihat *shading* menutupi 27 sel *output* panel surya yang dihasilkan makin mengecil yang diakibatkan oleh hampir seluruh sel tertutup sehingga rangkaian hanya bisa mengalirkan arus listrik yang baik dari sel yang tidak tertutup. Penutupan 1 panel pada Lampiran B pada Gambar B.5 terlihat *shading* menutupi 36 sel *output* panel surya yang dihasilkan sangat kecil dan hampir tidak ada tergantung dari kegelapan *shading*-nya diakibatkan keseluruhan sel pada panel surya tertutup yang dapat menghalangi akses radiasi matahari masuk kedalam sel sehingga rangkaian hanya dapat mengalirkan arus yang sangat kecil dan tidak ada tergantung dari kegelapan *shading*-nya. Pada pengamatan yang telah dilakukan ini dapat dikatakan *shading* yang terjadi pada panel surya juga mempengaruhi rangkaian penghubung antar sel, rangkaian dapat terpengaruh tergantung dari kondisi sel surya pada saat terkena *shading* pada setiap penutupan dan kegelapan yang terjadi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya serta hal tersebut juga mempengaruhi hasil *output* yang terjadi pada panel surya yang tertera pada gambar grafik hasil yaitu Gambar 4.21 s.d. Gambar 4.32.

Pada pengamatan daya *output* dan efisiensi daya normalisasi dapat dikatakan sesuai, hal ini dikarenakan pengaruh kegelapan *shading* yang semakin gelap dan posisi penutupan yang semakin besar dalam menutupi panel surya *solar*

tracking dual axis system dapat menyebabkan nilai daya *output* dan nilai efisiensi daya normalisasi menjadi semakin kecil. Dalam fenomena pengaruh *shading* yang terjadi dapat dilihat pada eksperimen *shading* 0% atau tanpa bayangan daya yang dihasilkan dapat dikatakan baik hal ini dapat dilihat pada salah satu daya mencapai 70,66 Watt pada Jam 12.00 dengan efisiensi 63%.

Pada saat menggunakan kegelapan *shading* 20% terjadi penurunan daya *output* salah satunya pada titik tertinggi penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 13.00 daya sebesar 54,25 Watt dengan efisiensi 48,9%, penurunan terus berlanjut pada seluruh eksperimen kegelapan, yaitu: eksperimen kegelapan *shading* 40% penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 12.00 daya sebesar 45,51 Watt dengan efisiensi 41%, eksperimen kegelapan *shading* 60% penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 13.00 daya sebesar 33,68 Watt dengan efisiensi 30,3%, eksperimen kegelapan *shading* 80% penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 12.00 daya sebesar 28,87 Watt dengan efisiensi 26%, dan yang terakhir pada eksperimen kegelapan *shading* 100% penutupan $\frac{1}{4}$ panel jam 12.00 daya sebesar 4,46 Watt dengan efisiensi 4%. Eksperimen ini dikatakan berhasil, pengaruh visualisasi kegelapan *shading* yang semakin gelap dan posisi penutupan yang semakin besar dapat menurunkan nilai daya *output* dan efisiensi daya normalisasi yang terukur secara terperinci setiap jamnya selama 21 hari pada panel surya *solar tracking dual axis system*, untuk hasil rata-rata dapat dilihat pada Lampiran A-11 Tabel.A.22, Tabel A.23, dan Tabel A.24.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada penelitian ini terdapat beberapa kesimpulan yang telah didapat, yaitu sebagai berikut:

1. Pengaruh suhu terhadap daya *output* tidak ada, suhu panel surya dipengaruhi oleh suhu lingkungan dengan nilai suhu panel surya 25°C s.d. 62°C yang masih pada batas nominal temperatur pengoperasian pada spesifikasi panel surya yaitu -45°C s.d. 80°C, hasil tidak mempengaruhi daya *output*.
2. Pada daya *output* dan efisiensi daya normalisasi kondisi normal dan *shading* memiliki perbedaan, panel tanpa *shading* rata-rata menghasilkan daya 48 watt dengan efisiensi 44%, sedangkan panel ter-*shading* menunjukkan penurunan daya 36-0,4 watt dengan efisiensi 33%-0,3%.
3. Efek *shading* sangat berdampak, semakin gelapnya kegelapan serta semakin besarnya penutupan daya *output* dan efisiensi daya normalisasi semakin kecil. Pengaruh *shading* mempengaruhi suhu, hasil analisis terdapat perbedaan suhu 1°C-5°C antara panel tanpa *shading* dan ter-*shading*.

5.2. Saran

Berikut ini merupakan beberapa saran agar pada penelitian kedepannya terdapat pengembangan yang lebih baik:

1. Variasi pada setiap variabel kegelapan menggunakan *solar protection film* dengan warna yang berbeda agar mengetahui pengaruh warna *shading* terhadap *output* yang dihasilkan panel surya.
2. Menambahkan variabel pada penelitian pengaruh *shading* dengan membandingkan hasil *output* antara panel surya *tracking* dan statis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Yuwono, D. Diharto, and N. W. Pratama, "Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid," *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 13, no. 2, pp. 161–171, Dec. 2021, doi: 10.33322/energi.v13i2.1537.
- [2] L. Adi Gunawan, A. Imam Agung, M. Widyartono, and S. Isnur Haryudo, "RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA PORTABLE," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 10, pp. 65–71, 2021.
- [3] T. Haryanto, H. Charles, and D. H. Pranoto, "Perancangan Energi Terbarukan Solar Panel Untuk Essential Load Dengan Sistem Switch," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2021.
- [4] M. Saleh Al Amin, I. F. Kartika, and Y. Irwansi, "Penggunaan Panel Surya Sebagai Pembangkit Listrik Pada Alat Pengering Makanan," *Jurnal Ampere*, vol. 7, no. 1, pp. 15–21, 2022, doi: 10.31851/ampere.
- [5] Mardianto, A. Akmal, A. Hafid, and Adriani, "PERANCANGAN SOLAR CELL UNTUK SUMBER ENERGI LISTRIK MESIN POMPA AIR," *Jurnal Teknik Elektro UNISMUH*, vol. 15, no. 1, pp. 48–56, 2023.
- [6] R. Hasrul, "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, vol. 5, no. 2, pp. 79–87, 2021.
- [7] N. Hayati, "Aplikasi Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Abdimasku (Jurnal Teknik Mesin IST Akprind Yogyakarta)*, vol. 4, no. 1, pp. 43–48, 2021.
- [8] P. P. T. Dharma Priatam, M. Fitra Zambak, Suwarno, and P. Harahap, "Analisa Radiasi Sinar Matahari Terhadap Panel Surya 50 WP," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 48–54, 2021, doi: 10.30596/rele.v4i1.7825.
- [9] B. Rangga Julian, Muliadi, and Syukri, "Analisis Pengaruh Radiasi Matahari Dan Temperatur Terhadap Daya Keluaran Fotovoltaik Menggunakan SPSS," *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 14–18, Jun. 2023.
- [10] D. Perangin Angin, P. Sihombing, and Y. Tri Nugraha, "ANALISIS

PENGARUH POSISI SUDUT SOLAR CELL TERHADAP INTENSITAS RADIASI MATAHARI,” *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro.*, vol. 6, no. 1, pp. 50–54, 2023.

- [11] P. Siagian and R. Manurung, “Pengembangan Panel Surya 120 Wp Dengan Solar Tracker Double Axis Sebagai Bahan Pembelajaran Mahasiswa di Program Studi Teknik Mesin UHN,” *Sprocket Journal of Mechanical Engineering (SJoME)*, vol. 3, no. 2, pp. 115–128, 2022.
- [12] R. Ramful and N. Sowaruth, “Low-cost solar tracker to maximize the capture of solar energy in tropical countries,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 295–302, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.145>.
- [13] A. Giyantara, R. Bagja Rizqullah, and Wisyahyadi, “PENGARUH PARTIAL SHADING TERHADAP DAYA KELUARAN PADA PANEL SURYA,” in *Prosiding Seminar Nasional Kahuripan I Tahun 2020*, 2020, pp. 279–283.
- [14] M. Saputra, A. H. Santoso, S. Gumilang, T. Chandra, and A. Pratama, “Analisis Pengaruh Suhu dan Partial Shading Terhadap Output Daya PV 100-WP,” *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 124–129, 2023.
- [15] Arfittariah and Wisyahyadi, “Efisiensi dari Solar panel terhadap Efek Partial shading di Wilayah Karang Joang,” *Jurnal ELEMENTER*, vol. 8, no. 1, pp. 53–62, 2022.
- [16] H. Hazman and A. Asnil, “Measurement of I-V and P-V Characteristics of Solar Panels Under Partial Shading Conditions,” *MOTIVECTION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 99–114, May 2022, doi: [10.46574/motivection.v4i2.116](https://doi.org/10.46574/motivection.v4i2.116).
- [17] Rohana, M. Fitra Zambak, and I. Indra Siregar, “Analisis Pengaruh Bayangan Terhadap Daya Keluaran Yang Dihasilkan Oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *Schrodinger (Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika)*, vol. 4, no. 1, pp. 77–90, 2023.
- [18] A. Pawawoi and V. A. Pranata, “Peningkatan Daya Output Photovoltaik Dengan Penambahan Lapisan Kaca Film Pada Permukaannya,” *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 9, no. 3, pp. 124–130, Nov. 2020, doi:

10.25077/jnte.v9n3.712.2020.

- [19] L. Abidin, C. Wieried Priananda, K. Imron Muzaki, F. Imaduddin Adhim, L. Putri Rahayu, and A. Musthofa, "Analisis Pengaruh Bayangan Sebagian Terhadap Karakteristik Daya Listrik pada PV Array," *JOURNAL OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING*, vol. 6, no. 2, pp. 48–58, Dec. 2022.
- [20] P. Guerriero, M. Coppola, I. Spina, I. Maticena, and S. Daliento, "A voltage divider strategy for reducing the hot spot temperature in partially shaded solar panels," in *2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, 2017, pp. 53–57. doi: 10.1109/ICCEP.2017.8004791.
- [21] B. H. Purwoto, Jatmiko, M. F. Alimul, and I. Fahmi Huda, "EFISIENSI PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018.
- [22] F. S. Putri *et al.*, "Rancang Bangun PLTS Kapasitas 50 Wp Menggunakan Reflektor untuk Meningkatkan Efisiensi Panel Surya," *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 13–14, 2022.
- [23] A. H. Andriawan and P. Slamet, "Tegangan Keluaran Solar Cell Type Monocrystalline Sebagai Dasar Pertimbangan Pembangkit Tenaga Surya," *Jurnal Penelitian LPPM Untag Surabaya*, vol. 02, no. 01, pp. 39–45, 2017.
- [24] N. Safitri, T. Rihayat, and S. Riskina, *BUKU TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC*, vol. 1. Banda Aceh: Yayasan Puga Aceh Riset, 2019. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/341909134>
- [25] B. A. Pratama, A. Hiendro, J. Marpaung, M. I. Yusuf, and F. Imansyah, "EFFECT OF SHADING ON HALF-CUT SOLAR PANELS POWER OUTPUT," *Telecommunications, Computers, and Electricals Engineering Journal*, vol. 1, no. 2, p. 73, Oct. 2023, doi: 10.26418/telectrical.v1i2.69957.
- [26] A. Joshi, A. Khan, and A. SP, "Comparison of half cut solar cells with standard solar cells," in *2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, Mar. 2019, pp. 1–3. doi: 10.1109/ICASET.2019.8714488.
- [27] P. Kusumaning Tiyas and M. Widyartono, "Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya," *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 9, no. 1, pp. 871–

876, 2020.

- [28] P. A. Sujana, I. N. S. Kumara, and I. A. D. Giriantari, "PENGARUH KEBERSIHAN MODUL SURYA TERHADAP UNJUK KERJA PLTS," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 2, no. 3, pp. 49–54, 2015.
- [29] B. Sri Aprillia, M. Rafiqy Zulfahmi, and dan Achmad Rizal, "Investigasi Efek Partial Shading Terhadap Daya Keluaran Sel Surya," *Jurnal ELEMENTER*, vol. 5, no. 2, pp. 9–17, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer>
- [30] L. Castañer and S. Silvestre, "Introduction to Photovoltaic Systems and PSpice," in *Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice®*, 2006, pp. 1–18. doi: 10.1002/0470855541.ch1.
- [31] M. A. Hasan and S. K. Parida, "Temperature dependency of partial shading effect and corresponding electrical characterization of PV panel," in *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, IEEE, Jul. 2015. doi: 10.1109/pesgm.2015.7286084.
- [32] J. Bai, Y. Cao, Y. Hao, Z. Zhang, S. Liu, and F. Cao, "Characteristic output of PV systems under partial shading or mismatch conditions," *Solar Energy*, vol. 112, pp. 41–54, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.09.048>.
- [33] L. Castañer, S. Bermejo, T. Markvart, and K. Fragaki, "IIIa-1 - Energy Production by a PV Array," in *Practical Handbook of Photovoltaics*, T. Markvart and L. Castañer, Eds., Amsterdam: Elsevier Science, 2003, pp. 517–529. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-185617390-2/50021-0>.
- [34] R. Ramabadran and B. Mathur, "Effect of Shading on Series and Parallel Connected Solar PV Modules," *Modern Aplied Science*, vol. 3, no. 10, pp. 32–41, Oct. 2009, [Online]. Available: www.cadence.com
- [35] J. Pereira, H. Teixeira, M. da G. Gomes, and A. M. Rodrigues, "Performance of Solar Control Films on Building Glazing: A Literature Review," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 12, pp. 1–26, Jun. 2022, doi: 10.3390/app12125923.
- [36] R. Mahendra, I. Salamah, and Nasron, "KOTAK SAMPAH OTOMATIS BERBASIS ARDUINO MEGA 2560," *Jurnal Qua Teknika*, vol. 10, no. 2,

pp. 24–33, 2020.

- [37] M. T. Taha, E. O. Mohamed, A. M. Abdolsalam, and A. B. Taha, “Control of Single-Axis and Dual-Axis Solar Tracking System,” in *2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, Feb. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCCEEE49695.2021.9429585.
- [38] B. Cahyo Wibowo and F. Nugraha, “Stepper Motor Speed Control Using Start-Stop Method Based On PLC,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, no. 3, pp. 213–220, 2021.
- [39] A. W. Wardhana and D. T. Nugroho, “Pengontrolan Motor Stepper Menggunakan Driver DRV 8825 Berbasis Signal Square Wave dari Timer Mikrokontroler AVR,” *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 7, no. 1, pp. 80–89, Mar. 2018, doi: 10.25077/jnte.v7n1.530.2018.
- [40] Syahrul, “MOTOR STEPPER: TEKNOLOGI, METODA DAN RANGKAIAN KONTROL,” *Majalah Ilmiah UNIKOM*, vol. 6, no. 2, pp. 187–202, 2011.
- [41] Y. Sianturi and C. M. Simbolon, “Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi,” *Megasains*, vol. 12, no. 1, pp. 40–47, Apr. 2021, doi: 10.46824/megasains.v12i1.45.
- [42] M. Putri and S. Aryza, “DESIGN OF SECURITY TOOLS USING SENSOR LIGHT DEPENDENT RESISTOR (LDR) THROUGH MOBILE PHONE,” *Peer-Reviewed, Refereed, Indexed Journal with IC*, vol. 4, no. 10, pp. 168–173, 2018.
- [43] I. R. Imaduddin, D. A. Fahreza, L. Hakim, and F. R. Maulana, “ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIDRO VORTEX (PLTHV) DI DESA SAWAH KEMBANG,” *JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 9, no. 2, pp. 110–118, Dec. 2022, doi: 10.34128/je.v9i2.207.
- [44] I. Paramudita, T. Ari, W. Wijanarko, A. Putri Amanda, and P. Bakti, “PENGARUH JARAK UKUR DAN JENIS TERMOMETER INFRAMERAH PADA HASIL PENGUKURAN SUHU TUBUH SEBAGAI SKRINING AWAL COVID-19,” *Jurnal Standardisasi*, vol. 23, no. 2, pp. 133–140, Jul. 2021.

- [45] A. Rafhi Syahdu, H. Suropto, and Y. Rizal, "Analisis Daya Output Solar Cell Menggunakan Solar Tracker Skala Laboratorium," *Jurnal Energi dan Inovasi Teknologi (ENOTEK)*, vol. 2, no. 2, pp. 49–53, 2023.
- [46] K. Witono, A. Asrori, and A. Harijono, "The Comparison of Performance Polycrystalline and Amorphous Solar Panels under Malang City Weather Conditions (Perbandingan Kinerja Panel Surya Tipe Polycrystalline dan Amorphous dibawah Kondisi Cuaca Kota Malang)," *Bulletin of Science Education*, vol. 1, no. 2, pp. 125–135, May 2021, [Online]. Available: <https://www.attractivejournal.com/index.php/bse/index>
- [47] Samsurizal, S. Dody P, M. Fikri, and Christiono, "Dampak Bayangan Pada Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Photovoltaic," *Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 9, no. 2, pp. 50–62, 2020.
- [48] D. Prima, P. Utami, and A. Rajagukguk, "ANALISA DAYA PEMBANGKIT PHOTOVOLTAIC ARRAY 9×10 WP MENDAPAT EFEK TERBAYANG (SHADING EFFECT)," *JOM FTEKNIK*, vol. 6, no. 2, pp. 1–5, 2019.
- [49] N. A. Windarko, M. N. Habibi, M. Ari, B. Nugroho, and E. Prasetyono, "Simulator Panel Surya Ekonomis untuk Pengujian MPPT pada Kondisi Berbayang Sebagian (Low Cost PV Photovoltaic Simulator for MPPT Testing under Partial Shading)," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* |, vol. 9, no. 1, pp. 110–115, 2020.
- [50] A. Surya Wardhana, A. Kusuma Dewi, and H. Taufiqurrahman, "PENGARUH KERUSAKAN DIODA BYPASS PADA PERFORMA 50 MODUL PHOTOVOLTAIC BERDASARKAN KONDISI PARTIAL SHADING," *Aseptia Surya Wardhana, SNTEM*, vol. 1, pp. 887–895, 2021.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A HASIL PENGUKURAN & PERHITUNGAN

Pada lampiran ini merupakan tabel data keseluruhan pada penelitian pada *solar tracking dual axis system* dengan shading sebagai variasi kegelapan dan posisi penutupan serta beberapa perhitungan yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

Tabel A.1 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 0%

Tanggal	Jam	0%						
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
29 Oktober 2023	06:00	19,55	0,80	15,64	14,1	70	30	26
	07:00	21,16	1,28	27,08	24,4	245	45	27
	08:00	21,66	2,60	56,32	50,7	487	56	27
	09:00	21,70	2,98	64,67	58,3	683	55	28
	10:00	21,75	3,18	69,17	62,3	857	54	30
	11:00	21,94	3,21	70,43	63,4	928	48	31
	12:00	21,81	3,24	70,66	63,7	936	50	31
	13:00	21,97	3,06	67,23	60,6	852	49	31
	14:00	21,85	3,02	65,99	59,4	715	49	31
	15:00	21,81	2,61	56,92	51,3	504	44	30
	16:00	21,64	2,00	43,28	39,0	223	32	29
	17:00	20,63	1,04	21,46	19,3	72	39	30
	18:00	12,05	0,09	1,08	1,0	10	27	28

Tabel A.2 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 20%, Penutupan ¼ Panel

Tanggal	Jam	20%							
		1/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
30 Oktober 2023	06:00	18,92	0,7	13,24	11,9	55	26	26	25
	07:00	19,36	0,82	15,88	14,3	205	27	27	27
	08:00	21,42	1,83	39,20	35,3	474	49	47	29
	09:00	22,13	2,09	46,25	41,7	825	45	44	30
	10:00	22,13	2,12	46,92	42,3	830	53	51	31
	11:00	21,56	2,4	51,74	46,6	882	56	54	31
	12:00	22,37	2,41	53,91	48,6	901	53	50	32
	13:00	21,7	2,5	54,25	48,9	915	49	47	33
	14:00	21,7	2,12	46,00	41,4	786	47	45	31
	15:00	21,72	2,06	44,74	40,3	586	43	42	30
	16:00	21,62	1,8	38,92	35,1	289	41	39	29
	17:00	21,2	0,8	16,96	15,3	197	37	36	27
	18:00	19,51	0,07	1,37	1,2	8	27	27	26

Tabel A.3 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 20%, Penutupan ½ Panel

Tanggal	Jam	20%							
		1/2							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
31 Oktober 2023	06.00	18,56	0,7	12,99	11,7	63	26	26	26
	07.00	18,99	0,74	14,05	12,7	215	28	27	27
	08.00	21,54	1,04	22,40	20,2	497	45	43	28
	09.00	21,49	1,48	31,81	28,7	692	41	39	28
	10.00	21,58	1,94	41,87	37,7	820	52	50	31
	11.00	21,94	2,02	44,32	39,9	890	53	52	32
	12.00	22	2,39	52,58	47,4	909	48	45	32
	13.00	21,79	2,07	45,11	40,6	898	51	47	32
	14.00	21,54	1,58	34,03	30,7	653	37	34	29
	15.00	21,35	1,21	25,83	23,3	463	40	37	28
	16.00	21,27	1,04	22,12	19,9	298	34	33	28
	17.00	20,66	0,62	12,81	11,5	103	32	31	28
	18.00	7,21	0,16	1,15	1,0	11	27	27	26

Tabel A.4 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 20%, Penutupan ¾ Panel

Tanggal	Jam	20%							
		3/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
1 November 2023	06.00	17,75	0,6	10,65	9,6	74	27	27	27
	07.00	18,6	0,66	12,28	11,1	238	28	27	27
	08.00	21,35	0,9	19,22	17,3	473	50	47	29
	09.00	21,05	1,25	26,31	23,7	640	52	49	30
	10.00	21,53	1,26	27,13	24,4	680	35	34	30
	11.00	21,6	1,45	31,32	28,2	750	39	38	31
	12.00	21,48	1,7	36,52	32,9	894	52	49	32
	13.00	21,54	2,06	44,37	40,0	901	51	49	32
	14.00	21,49	1,51	32,45	29,2	787	51	50	31
	15.00	21,32	1,08	23,03	20,7	301	41	37	28
	16.00	20,52	0,53	10,88	9,8	210	50	49	27
	17.00	19,86	0,22	4,37	3,9	99	33	31	27
	18.00	4	0,16	0,64	0,6	9	27	27	26

Tabel A.5 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 20%, Penutupan 1 Panel

Tanggal	Jam	20%						
		1						
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
2 November 2023	06:00	16,05	0,54	8,67	7,8	83	25	27
	07:00	18,29	0,55	10,06	9,1	183	27	27
	08:00	21,17	0,65	13,76	12,4	414	45	29
	09:00	21,24	1,04	22,09	19,9	584	50	30
	10:00	21,32	1,1	23,45	21,1	614	46	30
	11:00	21,24	1,1	23,36	21,0	606	43	30
	12:00	21,36	1,51	32,25	29,1	817	43	31
	13:00	21,43	1,85	39,65	35,7	903	45	32
	14:00	21,4	1,04	22,26	20,1	590	43	30
	15:00	20,74	0,71	14,73	13,3	445	36	29
	16:00	20,62	0,51	10,52	9,5	203	34	29
	17:00	18,71	0,21	3,93	3,5	101	31	28
	18:00	3	0,07	0,21	0,2	13	28	27

Tabel A.6 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 40%, Penutupan ¼ Panel

Tanggal	Jam	40%							
		1/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
3 November 2023	06:00	18,29	0,8	14,63	13,2	87	26	25	26
	07:00	19,39	0,82	15,90	14,3	113	28	26	28
	08:00	20,82	1,37	28,52	25,7	450	54	52	29
	09:00	20,79	1,54	32,02	28,8	500	58	54	30
	10:00	21,36	1,85	39,52	35,6	703	54	52	30
	11:00	21,18	2,03	43,00	38,7	805	49	48	31
	12:00	21,88	2,08	45,51	41,0	830	57	55	31
	13:00	21,26	2,06	43,80	39,5	794	54	50	31
	14:00	21,34	1,9	40,55	36,5	545	45	44	30
	15:00	21,27	1,56	33,18	29,9	517	50	47	30
	16:00	21,06	1,55	32,64	29,4	505	45	43	29
	17:00	20,67	0,7	14,47	13,0	104	37	36	28
	18:00	7,95	0,17	1,35	1,2	12	28	27	27

Tabel A.7 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 40%, Penutupan ½ Panel

Tanggal	Jam	40%							
		1/2							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
4 November 2023	06.00	18,58	0,72	13,38	12,1	77	26	25	25
	07.00	18,99	0,74	14,05	12,7	101	28	26	27
	08.00	20,89	0,77	16,09	14,5	264	47	44	28
	09.00	20,55	1,1	22,61	20,4	538	57	56	30
	10.00	21,92	1,29	28,28	25,5	759	57	55	31
	11.00	21,1	1,51	31,86	28,7	873	40	39	31
	12.00	21,28	1,57	33,41	30,1	909	51	47	32
	13.00	20,9	1,57	32,81	29,6	895	55	52	32
	14.00	20,66	1,16	23,97	21,6	677	38	37	31
	15.00	20,58	1,04	21,40	19,3	455	42	39	30
	16.00	19,8	0,6	11,88	10,7	200	35	34	29
	17.00	19,08	0,3	5,72	5,2	97	32	31	28
	18.00	3,79	0,16	0,61	0,5	8	28	27	27

Tabel A.8 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 40%, Penutupan ¾ Panel

Tanggal	Jam	40%							
		3/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
5 November 2023	06.00	17,75	0,55	9,76	8,8	68	27	27	25
	07.00	18,6	0,66	12,28	11,1	289	30	27	27
	08.00	20,77	0,63	13,09	11,8	300	53	51	28
	09.00	20,63	0,83	17,12	15,4	457	53	50	30
	10.00	20,89	0,84	17,55	15,8	490	36	35	30
	11.00	21,33	0,9	19,20	17,3	583	40	39	30
	12.00	20,83	1,34	27,91	25,1	690	54	52	31
	13.00	20,71	1,54	31,89	28,7	830	53	50	31
	14.00	20,77	1,13	23,47	21,1	586	53	52	31
	15.00	20,63	0,6	12,38	11,2	314	41	38	30
	16.00	20,65	0,38	7,85	7,1	180	52	48	29
	17.00	19,77	0,17	3,36	3,0	110	36	35	27
	18.00	3	0,09	0,27	0,2	14	27	27	26

Tabel A.9 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 40%, Penutupan 1 Panel

Tanggal	Jam	40%						
		1						
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
6 November 2023	06:00	16,05	0,55	8,83	8,0	66	25	26
	07:00	18,29	0,55	10,06	9,1	201	27	27
	08:00	20,53	0,61	12,52	11,3	465	45	28
	09:00	20,49	0,62	12,70	11,4	488	53	30
	10:00	20,68	0,68	14,06	12,7	507	45	30
	11:00	20,34	0,72	14,64	13,2	594	42	30
	12:00	20,65	1,22	25,19	22,7	760	46	31
	13:00	20,65	1,3	26,85	24,2	845	52	31
	14:00	20,7	0,78	16,15	14,5	713	47	30
	15:00	20,14	0,5	10,07	9,1	608	36	30
	16:00	19,65	0,35	6,88	6,2	301	34	29
	17:00	17,55	0,11	1,93	1,7	150	30	28
	18:00	2	0,08	0,16	0,1	6	27	27

Tabel A.10 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 60%, Penutupan ¼ Panel

Tanggal	Jam	60%							
		1/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
7 November 2023	06:00	19,76	0,38	7,51	6,8	59	26	26	25
	07:00	20,35	0,57	11,60	10,5	198	28	26	27
	08:00	21,36	0,8	17,09	15,4	264	48	47	28
	09:00	20,7	1	20,70	18,6	355	42	40	29
	10:00	21,6	1,01	21,82	19,7	481	34	32	30
	11:00	21,7	1,01	21,92	19,7	499	47	45	30
	12:00	21,47	1,44	30,92	27,9	744	55	51	30
	13:00	21,73	1,55	33,68	30,3	910	52	50	31
	14:00	21,67	1,46	31,64	28,5	823	44	43	31
	15:00	21,51	1,15	24,74	22,3	508	45	41	30
	16:00	21,41	0,83	17,77	16,0	150	41	40	30
	17:00	19,69	0,27	5,32	4,8	95	32	31	29
	18:00	7,04	0,16	1,13	1,0	10	26	26	26

Tabel A.11 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 60%, Penutupan ½ Panel

Tanggal	Jam	60%							
		1/2							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
8 November 2023	06.00	19,5	0,37	7,22	6,5	87	26	26	26
	07.00	20,32	0,38	7,72	7,0	100	39	37	28
	08.00	20,65	0,78	16,11	14,5	310	35	34	29
	09.00	20,74	0,8	16,59	14,9	333	45	42	29
	10.00	21,07	0,92	19,38	17,5	428	42	40	30
	11.00	21,25	1	21,25	19,1	480	50	47	30
	12.00	21,31	1,05	22,38	20,2	514	48	44	30
	13.00	21,15	1,4	29,61	26,7	821	36	34	31
	14.00	21,36	1,12	23,92	21,6	650	34	33	30
	15.00	20,88	1,1	22,97	20,7	405	37	35	30
	16.00	21,18	0,83	17,58	15,8	193	45	44	28
	17.00	18,54	0,22	4,08	3,7	109	30	29	27
	18.00	4,06	0,08	0,32	0,3	12	28	28	26

Tabel A.12 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 60%, Penutupan ¾ Panel

Tanggal	Jam	60%							
		3/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
9 November 2023	06.00	7,26	0,33	2,40	2,2	54	26	26	27
	07.00	20,2	0,36	7,27	6,6	235	37	34	28
	08.00	20,58	0,5	10,29	9,3	469	50	49	29
	09.00	20,73	0,62	12,85	11,6	577	54	50	30
	10.00	21,02	0,8	16,82	15,1	605	51	50	30
	11.00	21,15	0,89	18,82	17,0	753	44	40	30
	12.00	21,07	1	21,07	19,0	819	50	49	31
	13.00	20,97	0,99	20,76	18,7	789	48	47	31
	14.00	20,52	0,84	17,24	15,5	703	45	42	30
	15.00	20,73	0,64	13,27	12,0	536	48	46	30
	16.00	20,18	0,55	11,10	10,0	300	36	35	29
	17.00	16,66	0,22	3,67	3,3	96	35	34	29
	18.00	4	0,02	0,08	0,1	11	27	27	27

Tabel A.13 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 60%, Penutupan 1 Panel

Tanggal	Jam	60%						
		1						
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
10 November 2023	06:00	7,2	0,2	1,44	1,3	83	26	26
	07:00	19,06	0,12	2,29	2,1	184	34	28
	08:00	19,21	0,12	2,31	2,1	201	35	29
	09:00	19,69	0,27	5,32	4,8	452	34	30
	10:00	18	0,29	5,22	4,7	445	33	30
	11:00	20,73	0,47	9,74	8,8	500	34	30
	12:00	20,05	0,65	13,03	11,7	608	32	30
	13:00	20,97	0,82	17,20	15,5	831	50	31
	14:00	20,57	0,76	15,63	14,1	759	47	31
	15:00	20,41	0,57	11,63	10,5	580	48	30
	16:00	20,27	0,35	7,09	6,4	473	38	30
	17:00	16,47	0,21	3,46	3,1	103	30	29
	18:00	1	0,02	0,02	0,0	9	26	28

Tabel A.14 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 80%, Penutupan ¼ Panel

Tanggal	Jam	80%							
		1/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
11 November 2023	06:00	19,68	0,36	7,08	6,4	75	26	26	25
	07:00	20,3	0,37	7,51	6,8	101	28	26	27
	08:00	20,48	0,8	16,38	14,8	306	51	49	28
	09:00	20,7	0,8	16,56	14,9	343	44	43	28
	10:00	20,95	0,83	17,39	15,7	456	34	33	29
	11:00	21,39	0,96	20,53	18,5	581	51	49	30
	12:00	21,07	1,37	28,87	26,0	819	56	54	31
	13:00	21,39	1,32	28,23	25,4	795	52	50	31
	14:00	21,16	1,34	28,35	25,5	808	47	43	31
	15:00	21,11	1,06	22,38	20,2	667	46	42	30
	16:00	21,02	0,8	16,82	15,1	392	42	41	29
	17:00	19,09	0,22	4,20	3,8	98	32	31	27
	18:00	4,08	0,17	0,69	0,6	5	28	27	26

Tabel A.15 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 80%, Penutupan ½ Panel

Tanggal	Jam	80%							
		1/2							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
12 November 2023	06.00	19,12	0,29	5,54	5,00	83	26	26	26
	07.00	19,29	0,36	6,94	6,26	111	28	26	27
	08.00	20,3	0,73	14,82	13,35	397	37	35	29
	09.00	20,64	0,76	15,69	14,13	441	46	43	30
	10.00	21,22	0,77	16,34	14,72	519	43	38	30
	11.00	20,84	0,95	19,80	17,84	699	51	47	31
	12.00	21,01	1,07	22,48	20,25	845	46	44	31
	13.00	20,76	1,01	20,97	18,89	759	37	35	31
	14.00	20,88	0,84	17,54	15,80	624	35	33	30
	15.00	20,57	0,83	17,07	15,38	593	37	36	30
	16.00	20,7	0,59	12,21	11,00	276	45	42	29
	17.00	18,48	0,19	3,51	3,16	109	30	29	28
	18.00	3,79	0,16	0,61	0,55	11	27	27	27

Tabel A.16 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 80%, Penutupan ¾ Panel

Tanggal	Jam	80%							
		3/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
13 November 2023	06.00	18,58	0,25	4,65	4,2	79	26	26	27
	07.00	18,99	0,29	5,51	5,0	115	30	27	28
	08.00	20,1	0,42	8,44	7,6	244	54	51	29
	09.00	20,65	0,43	8,88	8,0	302	58	57	30
	10.00	20,26	0,56	11,35	10,2	411	60	56	30
	11.00	20,66	0,71	14,67	13,2	525	47	46	30
	12.00	20,18	1,05	21,19	19,1	827	53	51	31
	13.00	20,31	0,93	18,89	17,0	613	50	49	30
	14.00	20,18	0,75	15,14	13,6	555	47	44	30
	15.00	20,51	0,64	13,13	11,8	433	52	49	29
	16.00	20,1	0,5	10,05	9,1	317	37	34	29
	17.00	16,84	0,13	2,19	2,0	97	33	31	28
	18.00	3,7	0,07	0,26	0,2	14	28	27	27

Tabel A.17 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 80%, Penutupan 1 Panel

Tanggal	Jam	80%						
		1						
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
14 November 2023	06:00	18,83	0,14	2,64	2,4	70	26	27
	07:00	19,4	0,16	3,10	2,8	145	30	28
	08:00	20,31	0,16	3,25	2,9	191	34	29
	09:00	20,47	0,25	5,12	4,6	489	31	30
	10:00	17,93	0,33	5,92	5,3	535	30	30
	11:00	19,29	0,35	6,75	6,1	601	35	30
	12:00	17,89	0,68	12,17	11,0	714	33	30
	13:00	20,55	0,76	15,62	14,1	845	52	31
	14:00	20,13	0,62	12,48	11,2	732	52	31
	15:00	20	0,53	10,60	9,5	645	50	30
	16:00	19,51	0,43	8,39	7,6	611	38	29
	17:00	16	0,09	1,44	1,3	113	32	27
	18:00	12,86	0,01	0,13	0,1	7	27	26

Tabel A.18 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 100%, Penutupan ¼ Panel

Tanggal	Jam	100%							
		1/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
15 November 2023	06:00	16,18	0,16	2,59	2,3	88	26	26	26
	07:00	16,42	0,16	2,63	2,4	96	27	26	26
	08:00	18,23	0,17	3,10	2,8	180	44	42	28
	09:00	18,01	0,19	3,42	3,1	300	40	39	29
	10:00	18,59	0,19	3,53	3,2	358	56	54	29
	11:00	18,49	0,2	3,70	3,3	510	57	53	30
	12:00	18,6	0,24	4,46	4,0	805	57	55	31
	13:00	18,82	0,17	3,20	2,9	540	58	54	30
	14:00	18,81	0,16	3,01	2,7	400	56	52	29
	15:00	18,72	0,16	3,00	2,7	390	51	49	29
	16:00	17,09	0,13	2,22	2,0	219	43	38	28
	17:00	14,81	0,06	0,89	0,8	89	31	31	26
	18:00	1,934	0,05	0,10	0,1	15	27	27	26

Tabel A.19 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 100%, Penutupan ½ Panel

Tanggal	Jam	100%							
		1/2							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
16 November 2023	06.00	15,1	0,11	1,66	1,5	61	26	26	26
	07.00	15	0,12	1,80	1,6	115	34	33	28
	08.00	16,7	0,12	2,00	1,8	254	48	45	29
	09.00	14,91	0,13	1,94	1,7	231	47	45	28
	10.00	15,92	0,14	2,23	2,0	366	44	43	30
	11.00	16,18	0,16	2,59	2,3	587	48	45	30
	12.00	16,04	0,17	2,73	2,5	841	61	58	31
	13.00	16,48	0,16	2,64	2,4	807	60	57	31
	14.00	16,17	0,13	2,10	1,9	501	55	54	30
	15.00	15,43	0,06	0,93	0,8	299	44	42	29
	16.00	14,84	0,03	0,45	0,4	203	40	38	28
	17.00	11,68	0,03	0,35	0,3	107	32	31	27
	18.00	1,933	0,03	0,06	0,1	8	27	27	26

Tabel A.20 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 100%, Penutupan ¾ Panel

Tanggal	Jam	100%							
		3/4							
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Panel (°C)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
17 November 2023	06.00	9,2	0,02	0,18	0,2	91	26	26	26
	07.00	10,02	0,09	0,90	0,8	189	27	26	28
	08.00	11,6	0,09	1,04	0,9	230	40	38	29
	09.00	12,8	0,09	1,15	1,0	373	42	41	29
	10.00	10,84	0,12	1,30	1,2	453	59	56	30
	11.00	11,21	0,13	1,46	1,3	598	60	57	30
	12.00	11,21	0,14	1,57	1,4	812	57	54	31
	13.00	11,1	0,14	1,55	1,4	722	61	56	31
	14.00	11,03	0,13	1,43	1,3	493	56	55	30
	15.00	11,03	0,06	0,66	0,6	220	47	45	32
	16.00	8,49	0,03	0,25	0,2	154	45	43	31
	17.00	6,55	0,02	0,13	0,1	103	31	30	30
	18.00	1,93	0,02	0,04	0,0	14	27	27	27

Tabel A.21 Hasil Pengukuran *Shading* Kegelapan 100%, Penutupan 1 Panel

Tanggal	Jam	100%						
		1						
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)	Iradiasi (W/m ²)	Suhu Kaca Film (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
18 November 2023	06:00	4	0	0,0	0,0	59	26	26
	07:00	8	0,02	0,2	0,1	150	33	27
	08:00	6,92	0,03	0,2	0,2	215	41	28
	09:00	8,03	0,05	0,4	0,4	354	44	29
	10:00	6,76	0,12	0,8	0,7	545	52	30
	11:00	7,68	0,12	0,9	0,8	798	61	31
	12:00	8,49	0,11	0,9	0,8	801	62	31
	13:00	8,01	0,07	0,6	0,5	503	51	30
	14:00	7,83	0,06	0,5	0,4	365	45	29
	15:00	8,03	0,03	0,2	0,2	234	41	29
	16:00	7	0,02	0,1	0,1	131	39	29
	17:00	2,91	0,01	0,0	0,0	95	32	28
	18:00	1,9	0	0,0	0,0	16	27	27

Tabel A.22 Hasil rata-rata *output* eksperimen *shading* kegelapan 0%

Kegelapan	Rata-rata Daya Output	Rata-rata Efisiensi Normalisasi
Kegelapan 0% (Tanpa <i>Shading</i>)	48 Watt	44%

Tabel A.23 Hasil rata-rata daya *output* eksperimen *shading*

Rata-rata Daya Output				
Kegelapan	Penutupan			
	Penutupan 1/4 Panel	Penutupan 1/2 Panel	Penutupan 3/4 Panel	Penutupan 1 Panel
Kegelapan 20%	36 Watt	28 Watt	21 Watt	17 Watt
Kegelapan 40%	30 Watt	20 Watt	15 Watt	12 Watt
Kegelapan 60%	19 Watt	16 Watt	12 Watt	7,3 Watt
Kegelapan 80%	17 Watt	13 Watt	10 Watt	7 Watt
Kegelapan 100%	3 Watt	2 Watt	0,9 Watt	0,4 Watt

Tabel A.24 Hasil rata-rata efisiensi daya normalisasi eksperimen *shading*

Rata-rata Efisiensi Normalisasi				
Kegelapan	Penutupan			
	Penutupan 1/4 Panel	Penutupan 1/2 Panel	Penutupan 3/4 Panel	Penutupan 1 Panel
Kegelapan 20%	33%	25%	19%	16%
Kegelapan 40%	27%	18%	14%	11%
Kegelapan 60%	17%	14%	11%	6,5%
Kegelapan 80%	15%	12%	9%	6%
Kegelapan 100%	2%	1%	0,8%	0,3%

A. Perhitungan Daya *Output*

Nilai daya *output* yang diperoleh menggunakan Persamaan (2.1), yaitu pada contoh pengujian *shading* kegelapan 20%, penutupan $\frac{1}{4}$ panel pada pukul 13.00 sebagai berikut:

1. Pengujian *shading* kegelapan 20%, penutupan $\frac{1}{4}$ panel pukul 13.00

$$V = 21,7 \text{ V}$$

$$I = 2,5 \text{ A}$$

Maka:

$$P_{out} = V \times I$$

$$P_{out} = 21,7 \times 2,5$$

$$P_{out} = 54,25 \text{ W}$$

B. Perhitungan Efisiensi Daya Normalisasi

Nilai efisiensi daya normalisasi yang diperoleh menggunakan Persamaan (2.2), yaitu pada contoh pengujian *shading* kegelapan 20%, penutupan $\frac{1}{4}$ panel pada pukul 13.00 sebagai berikut:

1. Pengujian *shading* kegelapan 20%, penutupan $\frac{1}{4}$ panel pukul 13.00

$$P_{act} = 54,25 \text{ W}$$

$$P_{max} = 111 \text{ W}$$

Maka

$$\eta_n = \frac{P_{act}}{P_{max}} \times 100\%$$

$$\eta_n = \frac{54,25}{111} \times 100\%$$

$$\eta_n = 48,9\%$$

C. Perhitungan *shading modelling* pada panel surya

Pada perhitungan *shading modelling* menggunakan perhitungan dasar matematika yang disesuaikan dengan kondisi panel surya guna menentukan besar penutupan *shading* yang terjadi, yaitu dengan perhitungan berikut:

$$\text{Jumlah sel panel surya} \times \text{persentase bayangan} \quad (\text{A.1})$$

1. Menentukan *shading modelling* pada pentupan $\frac{1}{4}$ Panel

$$\frac{1}{4} = 25\%$$

$$\text{Jumlah sel} = 36 \text{ sel}$$

Maka

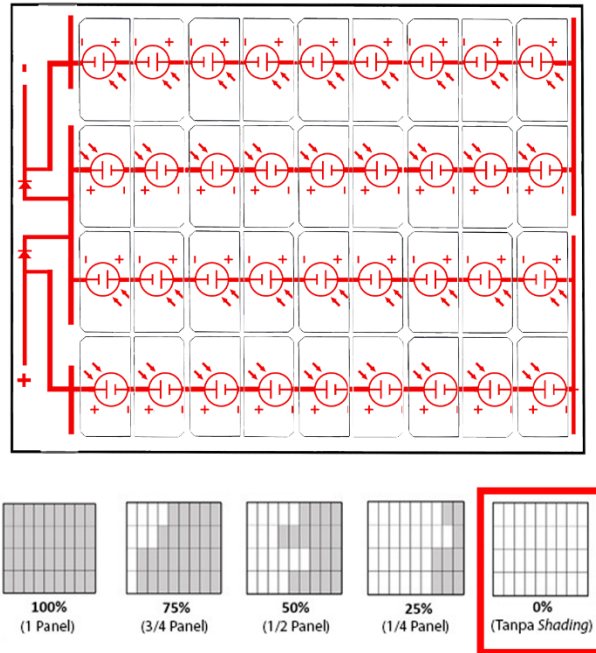
$$\text{Jumlah sel panel surya} \times \text{persentase bayangan}$$

$$= 36 \text{ sel} \times 25\%$$

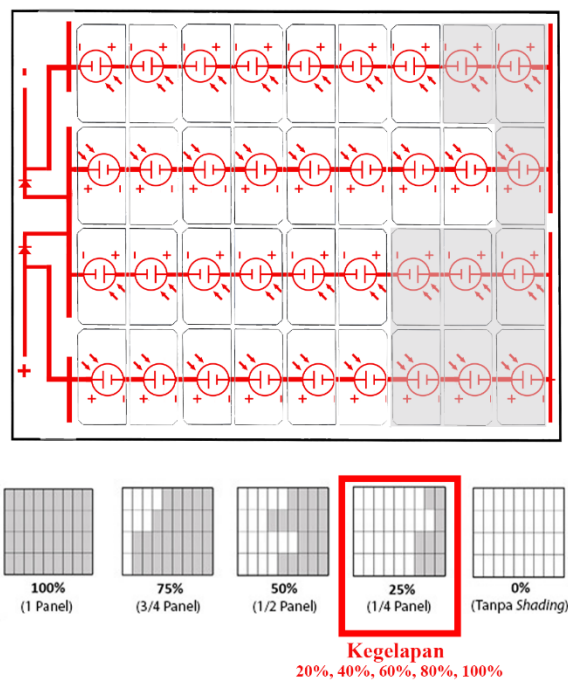
$$= 9 \text{ sel (sel tertutup)}$$

LAMPIRAN B RANGKAIAN PANEL SURYA DAN *SHADING*

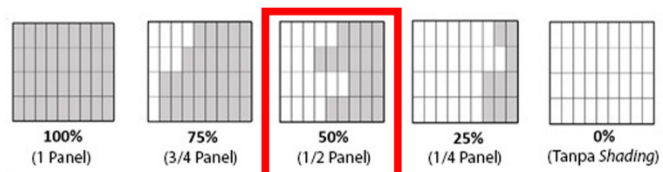
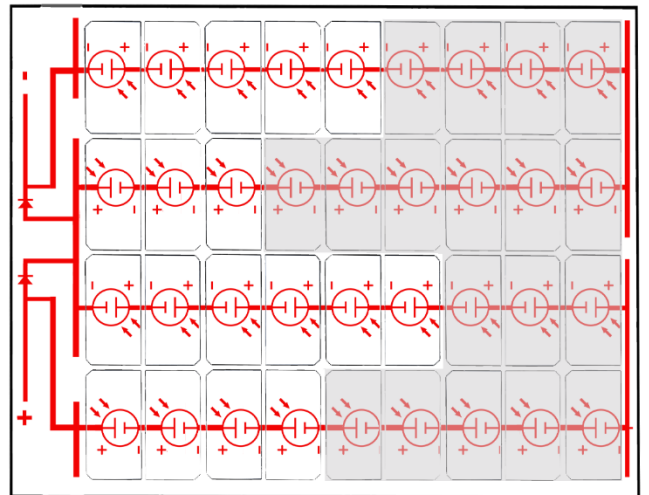
Pada lampiran ini merupakan beberapa gambar visualisasi rangkaian modul panel surya saat terkena *shading*, yaitu sebagai berikut:



Gambar B.1. Rangkaian panel surya tanpa *shading*

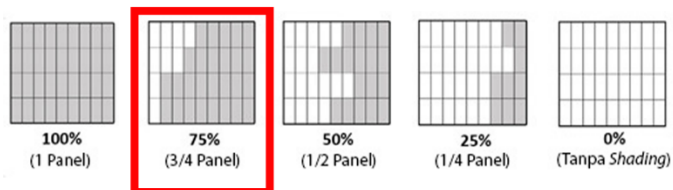
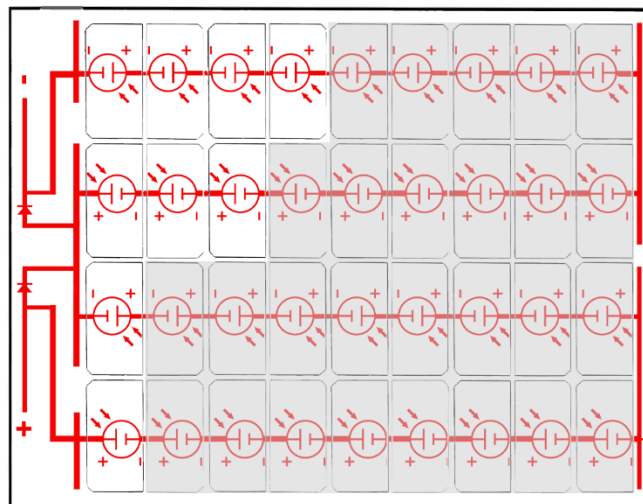


Gambar B.2 Rangkaian pada penutupan $\frac{1}{4}$ panel



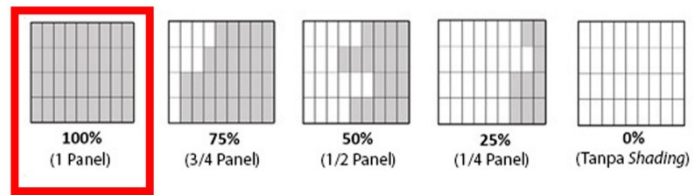
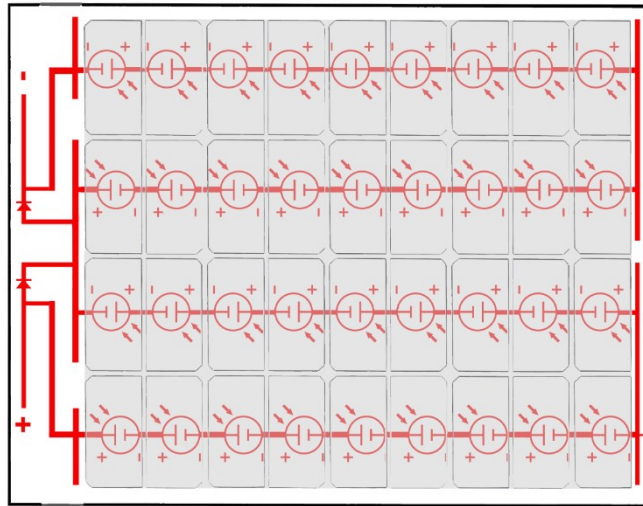
Kegelapan
20%, 40%, 60%, 80%, 100%

Gambar B.3 Rangkaian pada penutupan $\frac{1}{2}$ panel



Kegelapan
20%, 40%, 60%, 80%, 100%

Gambar B.4 Rangkaian pada penutupan $\frac{3}{4}$ panel



Kegelapan
20%, 40%, 60%, 80%, 100%

Gambar B.5 Rangkaian pada penutupan 1 panel

LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN

Pada lampiran ini berisi dokumentasi pada saat pengamatan pada penelitian ini dilakukan, yaitu sebagai berikut:

Pengamatan kegelapan *shading* 0% (tanpa bayangan)



Pengamatan kegelapan *shading* 20%



(a) Penutupan 1/4 panel



(b) Penutupan 1/2 panel



(c) Penutupan 3/4 panel



(d) Penutupan 1 panel

Pengamatan kegelapan *shading* 40%



(a) Penutupan 1/4 panel



(b) Penutupan 1/2 panel



(c) Penutupan 3/4 panel



(d) Penutupan 1 panel

Pengamatan kegelapan *shading* 60%



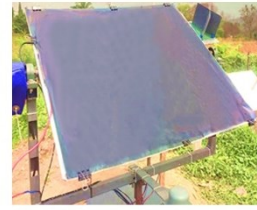
(a) Penutupan 1/4 panel



(b) Penutupan 1/2 panel



(c) Penutupan 3/4 panel



(d) Penutupan 1 panel

Pengamatan kegelapan *shading* 80%



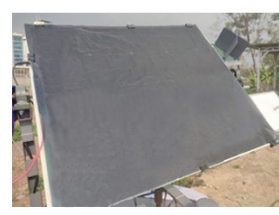
(a) Penutupan 1/4 panel



(b) Penutupan 1/2 panel



(c) Penutupan 3/4 panel

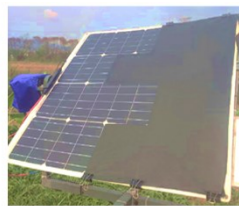


(d) Penutupan 1 panel

Pengamatan kegelapan *shading* 100%



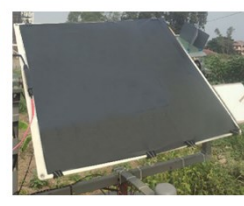
(a) Penutupan 1/4 panel



(b) Penutupan 1/2 panel



(c) Penutupan 3/4 panel



(d) Penutupan 1 panel

Dokumentasi pengambilan data

Pengujian *shading* kegelapan 40%, penutupan 1/2 panel pada jam 08.00 WIB



Tegangan



Arus



Suhu panel



Suhu kaca film



Pengambilan data panel surya

Tanggal	Waktu	Irradiance (W/m ²)	Temperature (°C)
29/10/2023	06.00	70	26
29/10/2023	07.00	245	27
29/10/2023	08.00	487	27
29/10/2023	09.00	683	28
29/10/2023	10.00	857	30
29/10/2023	11.00	928	31
29/10/2023	12.00	936	31
29/10/2023	13.00	852	31
29/10/2023	14.00	715	31
29/10/2023	15.00	504	30
29/10/2023	16.00	223	29
29/10/2023	17.00	72	30
29/10/2023	18.00	10	28

Data pyranometer



Pengambilan data pyranometer