

**EFISIENSI DAYA PANEL SURYA MONOCRYSTALLINE
DENGAN SOLAR TRACKING DUAL AXIS SYSTEM**

SKRIPSI

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



Disusun oleh:

ALBERTUS SERA SASMITA

3332190092

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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : EFISIENSI DAYA PANEL SURYA
*MONOCRYSTALLINE DENGAN SOLAR TRACKING
DUAL AXIS SYSTEM*

Nama Mahasiswa : Albertus Sera Sasmita

NPM : 3332190092

Fakultas/Jurusan : Fakultas Teknik/Jurusan 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 dipertanggung jawabkan. 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 nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 7 Januari 2025



Albertus Sera Sasmita

NPM.3332190092

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut

Judul : EFISIENSI DAYA PANEL SURYA
MONOCRYSTALLINE DENGAN SOLAR
TRACKING DUAL AXIS SYSTEM

Nama Mahasiswa : Albertus Sera Sasmita

NPM : 3332190092

Fakultas/Jurusan : Fakultas Teknik/Jurusan Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 7 Januari 2024 melalui sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS.

Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.

Pembimbing II : Felycia, S.T., M.T.

Penguji I : Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.

Penguji II : HM. Hartono, S.T., M.T.

.....

.....

.....

.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan



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

NIP.198103282010121001

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Efisiensi Daya Panel Surya *Monocrystalline* Dengan *Solar Tracking Dual Axis System*”. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis mengucapkan banyak terima kasih terhadap semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi. Tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini tanpa mengurangi rasa hormat, saya selaku penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah terlibat serta yang terutama kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga besar penulis yang memberikan dukungan kepada penulis baik secara moril maupun materi.
2. Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus sebagai dosen pembimbing skripsi I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi;
3. Felycia, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing skripsi II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
4. Cakra Adipura W, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik penulis.
5. Muhammad Firman Fauzy dan Tamam Falah Ramadhan, selaku tim *project capstone* yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, dari awal hingga akhir pembuatan skripsi;
6. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan ilmu serta pendidikan yang bermanfaat serta teman-teman yang telah banyak membantu saya berupa semangat, kritik, dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada kekeliruan di dalam penulisan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu dan dapat dikembangkan.

Cilegon, 7 Januari 2025

Albertus Sera Sasmita
3332190092

ABSTRAK

Albertus Sera Sasmita

Jurusan Teknik Elektro

Efisiensi Daya Panel Surya *Monocrystalline* Dengan *Solar Tracking Dual Axis System*

Umumnya panel surya dibangun dengan sistem statis pada sudut kemiringan 15° , tetapi daya yang dihasilkan dengan sistem statis masih kurang optimal. Kurang optimalnya hasil daya tersebut dapat dioptimalkan dengan menggunakan sistem *solar tracking dual axis*. Sehingga pada penelitian yang dilakukan bertujuan menganalisis perbandingan daya panel surya terhadap penyerapan radiasi matahari, menganalisis hasil efisiensi konversi panel surya pada tiga kondisi cuaca, serta menganalisis pengaruh *shading bar* terhadap hasil perbandingan daya panel surya. Pada penelitian ini, untuk mencapai tujuan tersebut dapat menggunakan metode *solar tracking dual axis system*. Peningkatan daya pada panel surya diperoleh dari perbandingan hasil daya panel surya sistem statis dan sistem *solar tracking dual axis system*. Pengambilan data diambil dengan 3 kategori cuaca, yaitu cuaca cerah, berawan, dan hujan. Hasil penelitian yang dilakukan pada kondisi cuaca cerah, *solar tracking dual axis* dapat bekerja optimal dengan melihat pada besarnya daya puncak sekitar 79,2 W, dengan penyimpangan sudut pada *shading bar* sekitar 0° s.d. $1,5^\circ$, dan untuk efisiensi konversi *solar tracking dual axis* lebih unggul sebesar 17,87% apabila dibandingkan dengan panel surya statis yang memiliki efisiensi konversi 10,02%. Pada hasil penelitian *solar tracking dual axis* dapat bekerja optimal sesuai yang diinginkan melihat *shading bar*, dan menghasilkan efisiensi yang lebih baik apabila dibandingkan panel surya sistem statis.

Kata kunci: Panel surya, *Solar tracking dual axis*, Efisiensi konversi

ABSTRACT

Albertus Sera Sasmita

Departement of Electrical Engineering

Power Efficiency of Monocrystalline Solar Panels with Dual Axis Solar Tracking

Generally, solar panels are built with a static system at a tilt angle of 15° . However, the power generated by the static system is still not optimal. The suboptimal power output can be improved by using a dual-axis solar tracking system. Therefore, this study aims to analyze the comparison of solar panel power output in relation to solar radiation absorption, evaluate the conversion efficiency of solar panels under three different weather conditions, and examine the effect of shading bars on solar panel power output. To achieve these objectives, the dual-axis solar tracking system method is used. The increase in solar panel power output is obtained by comparing the power output of the static system and the dual-axis solar tracking system. Data collection was carried out under three weather conditions: clear, cloudy, and rainy. The results of the study under clear weather conditions show that the dual-axis solar tracking system can operate optimally, reaching a peak power of approximately 79.2 W, with a shading bar angle deviation ranging from 0° to 1.5° . Additionally, the conversion efficiency of the dual-axis solar tracking system is 17.87%, which is superior compared to the static solar panel system, which has a conversion efficiency of 10.02%. The findings indicate that the dual-axis solar tracking system operates optimally when considering the shading bar and produces better efficiency compared to the static solar panel system.

Keywords: Solar panel, Solar tracking dual axis system, Conversion efficiency

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
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. Panel Surya.....	5
2.2.1. <i>Half-cut Solar Panel</i>	6
2.2.2. <i>Monocrystalline</i>	6
2.2.3. <i>Polycrystalline</i>	7
2.2.4. <i>Thin Film Solar Cell</i>	7
2.2. Parameter Panel Surya.....	8
2.3. Faktor-faktor Pengaruh Kinerja Panel Surya	10
2.4. <i>Solar Tracking System</i>	13
2.4.1. <i>Solar Tracking Single Axis System</i>	14
2.4.2. <i>Solar Tracking Dual Axis System</i>	14
2.5. <i>Motor Stepper</i>	15
2.6. <i>Sensor Light Dependent Resistor (LDR)</i>	16

2.7. <i>Pyranometer</i>	17
2.8. <i>Arduino</i>	18
2.9. <i>Digital Clamp Multimeter</i>	18
2.10. <i>Thermogun</i>	19
2.11. <i>Kajian Pustaka</i>	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. <i>Capstone Project</i>	21
3.2. <i>Alur Penelitian</i>	22
3.2.1. <i>Studi Literatur</i>	22
3.2.2. <i>Pemodelan Rangka Solar Tracking Dual Axis System</i>	22
3.2.3. <i>Perancangan Sistem Solar Tracking Dual Axis System</i>	23
3.2.4. <i>Pengujian Alat Solar Tracking Dual Axis System</i>	23
3.2.5. <i>Desain Pengambilan Data</i>	24
3.3. <i>Prinsip Kerja Solar Tracking Dual Axis System</i>	25
3.4. <i>Komponen Penelitian</i>	25
3.5. <i>Shading bar</i>	26
3.6. <i>Spesifikasi Panel Surya</i>	27
BAB IV ANALISIS DAN HASIL	28
4.1. <i>Solar Tracking Dual Axis System</i>	28
4.2. <i>Hasil Data Penelitian</i>	29
4.2.1. <i>Kondisi Cuaca Cerah</i>	29
4.2.2. <i>Kondisi Cuaca Berawan</i>	35
4.2.3. <i>Kondisi Cuaca Hujan</i>	42
BAB V PENUTUP	50
5.1. <i>Simpulan</i>	50
5.2. <i>Saran</i>	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN A PENGUJIAN SENSOR	A-1
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN	B-1
LAMPIRAN C PERHITUNGAN DATA	C-1
LAMPIRAN D DOKUMENTASI FOTO PENELITIAN	D-1
LAMPIRAN E KENDALI ALAT	E-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Detail Panel Surya	5
Gambar 2.2 Perbandingan Sel Panel Surya.....	6
Gambar 2.3 Panel Surya <i>Monocrystalline</i>	6
Gambar 2.4 Panel Surya <i>Polycrystalline</i>	7
Gambar 2.5 Panel Surya <i>Thin-Film</i>	7
Gambar 2.6 Kurva I V Panel Surya.....	8
Gambar 2.7 Kurva Arus dan Tegangan Terhadap Intensitas Radiasi	11
Gambar 2.8 Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran Permukaan Bumi	11
Gambar 2.9 Kondisi Langit.....	12
Gambar 2.10 Kurva Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan Suhu	13
Gambar 2.11 Contoh <i>Solar Tracking Single Axis System</i>	14
Gambar 2.12 Contoh <i>Solar Tracking Dual Axis System</i>	15
Gambar 2.13 Motor <i>Stepper</i>	15
Gambar 2.14 Contoh Motor <i>Stepper</i>	16
Gambar 2.15 Sensor LDR	16
Gambar 2.16 Alat Ukur <i>Pyranometer</i>	17
Gambar 2.17 Arduino Mega 2560.....	18
Gambar 2.18 <i>Digital Clamp Multimeter</i>	18
Gambar 2.19 <i>Thermogun</i>	19
Gambar 3.1 <i>Diagram Capstone Project</i>	21
Gambar 3.2 Rangka Bawah Panel Surya	22
Gambar 3.3 Penempatan Komponen.....	23
Gambar 3.4 Penempatan dan Cara Kerja <i>Solar tracking dual axis</i>	25
Gambar 3.5 Penggambaran <i>Shading bar</i>	26
Gambar 4.1 Panel Surya <i>Half-cut Monocrystalline 85 W</i>	28
Gambar 4.2 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Cerah	29
Gambar 4.3 Perbandingan Daya Hari Pertama 5 Desember 2023	30
Gambar 4.4 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 5 Desember 2023.....	30
Gambar 4.5 Perbandingan Daya Hari Kedua 6 Desember 2023.....	31
Gambar 4.6 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 6 Desember 2023	32

Gambar 4.7 Perbandingan Daya Hari Ketiga 9 Desember 2023.....	32
Gambar 4.8 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 9 Desember 2023	33
Gambar 4.9 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Cerah	34
Gambar 4.10 Contoh <i>Shading bar</i> Kondisi Cerah	34
Gambar 4.11 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Cerah.....	35
Gambar 4.12 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Berawan.....	36
Gambar 4.13 Perbandingan Daya Hari Pertama 4 Desember 2023	36
Gambar 4.14 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 4 Desember 2023	37
Gambar 4.15 Perbandingan Daya Hari Kedua 7 Desember 2023.....	38
Gambar 4.16 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 7 Desember 2023	38
Gambar 4.17 Perbandingan Daya Hari Ketiga 13 Januari 2024	39
Gambar 4.18 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 13 Januari 2024.....	39
Gambar 4.19 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Berawan	40
Gambar 4.20 Contoh <i>Shading bar</i> Kondisi Berawan.....	41
Gambar 4.21 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Berawan	42
Gambar 4.22 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Hujan	42
Gambar 4.23 Perbandingan Daya Hari Pertama 24 November 2023	43
Gambar 4.24 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 24 November 2023	44
Gambar 4.25 Perbandingan Daya Hari Kedua 3 Januari 2024	45
Gambar 4.26 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 3 Januari 2024	45
Gambar 4.27 Perbandingan Daya Hari Ketiga 7 Januari 2024	46
Gambar 4.28 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 7 Januari 2024.....	47
Gambar 4.29 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Hujan.....	47
Gambar 4.30 Contoh <i>Shading bar</i> Kondisi Hujan	48
Gambar 4.31 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Hujan.....	48
Gambar A.1 Uji Sensor Tegangan	A-1
Gambar A.2 Uji Sensor RTC-DS3231	A-2
Gambar A.3 Uji <i>Micro SD Card Adaptor</i>	A-3
Gambar D.1 Pengambilan Data Panel Surya <i>Dual Axis</i> dan <i>Statis</i>	D-1
Gambar D.2 Dokumentasi Pengujian Sensor Tegangan Statis	D-2
Gambar D.3 Pengujian Sensor Tegangan <i>Tracking</i>	D-3
Gambar D.4 Dokumentasi <i>Team Capstone</i>	D-4

Gambar D.5 Dokumentasi LCD.....	D-4
Gambar D.6 Dokumentasi <i>Pyranometer</i>	D-4
Gambar D.7 Dokumentasi Motor <i>Stepper</i> 1 dan 2.....	D-5
Gambar D.8 Dokumentasi Pengambilan Data Cuaca Hujan.....	D-5
Gambar E.1 Panel Surya <i>Solar tracking dual axis</i>	E-1
Gambar E.2 Komponen Sistem Kendali	E-1
Gambar E.3 Panel Surya Statis	E-2
Gambar E.4 <i>Single Line Diagram</i> Kendali <i>Solar tracking dual axis</i>	E-2
Gambar E.5 <i>Diagram</i> Blok Sistem Kendali <i>Solar tracking dual axis</i>	E-3
Gambar E.6 Rangkaian Sistem Kendali <i>Solar tracking dual axis</i>	E-5
Gambar E.7 <i>Technical</i> Parameter Solar Panel 85 W	E-6

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Desain Eksperimen Pengambilan Data	24
Tabel 3.2 Komponen Penelitian	26
Tabel 3.3 Spesifikasi Panel Surya	27
Tabel 4.1 Data Rata-Rata Efisiensi Konversi Tertinggi.....	49
Tabel A.1 Pengujian Sensor Tegangan <i>Solar tracking dual axis</i>	A-1
Tabel A.2 Pengujian Sensor Tegangan Statis	A-1
Tabel B.1 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Pertama Cuaca Hujan.....	B-1
Tabel B.2 Data Statis Hari Pertama Cuaca Hujan.....	B-1
Tabel B.3 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Kedua Cuaca Hujan.....	B-2
Tabel B.4 Data Statis Hari Kedua Cuaca Hujan	B-2
Tabel B.5 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Ketiga Cuaca Hujan	B-3
Tabel B.6 Data Statis Hari Ketiga Cuaca Hujan	B-3
Tabel B.7 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Pertama Cuaca Berawan.....	B-4
Tabel B.8 Data Statis Hari Pertama Cuaca Berawan	B-4
Tabel B.9 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Kedua Cuaca Berawan	B-5
Tabel B.10 Data Statis Hari Kedua Cuaca Berawan.....	B-5
Tabel B.11 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Ketiga Cuaca Berawan	B-6
Tabel B.12 Data Statis Hari Ketiga Cuaca Berawan.....	B-6
Tabel B.13 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Pertama Cuaca Cerah	B-7
Tabel B.14 Data Statis Hari Pertama Cuaca Cerah.....	B-7
Tabel B.15 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Kedua Cuaca Cerah.....	B-8
Tabel B.16 Data Statis Hari Kedua Cuaca Cerah.....	B-8
Tabel B.17 Data <i>Solar tracking dual axis</i> Hari Ketiga Cuaca Cerah.....	B-9
Tabel B.18 Data Statis Hari Ketiga Cuaca Cerah	B-9

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanfaatan dari energi surya menjadi suatu energi alternatif yang sangat tepat untuk keberlangsungan hidup manusia untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. Indonesia memperoleh energi matahari sebanyak 4,8 s.d. 6,0 kWh/ m² pertahunnya [1], hal tersebut tidak terlepas dari Indonesia yang terletak di geografis garis khatulistiwa. Di Indonesia energi matahari baru dimanfaatkan sekitar 78,5 MW dengan penggunaan dari 207,898 MW pada setiap tahunnya [2].

Sel surya merupakan modul dengan kumpulan sel surya yang mempunyai fungsi untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Posisi panel surya harus ditempatkan pada arah datangnya matahari, dan tidak terhalangi oleh apa pun yang dapat mengurangi efisiensi panel surya [3]. Panel surya menghasilkan *output* daya yang tinggi apabila diarahkan langsung pada arah datangnya radiasi matahari [4]. Pembuatan alat panel surya *solar tracking dual axis* ini dibangun dengan menggunakan sistem pengindraan radiasi matahari. Jadi alat dapat mengikuti pergerakan arah datangnya matahari dan memastikan agar panel surya dapat bergerak sesuai yang diinginkan [5], sehingga didapatkan hasil daya *output* yang lebih optimal [3][6].

Efisiensi pada panel surya dapat ditingkatkan, panel surya *tracking* ditambahkan dengan menghabiskan biaya sistem yang lumayan tinggi serta dengan sistem kendali yang cukup rumit [7][8]. Terdapat dua kategori dasar pada pengindraan, yaitu sumbu *azimuth* dan sumbu *altitude*. Pelacak sumbu tersebut memungkinkan untuk bergerak pada sumbu vertikal dan horizontal, sehingga dapat melacak posisi matahari dengan tepat [9][10].

Pengindraan radiasi matahari dengan sensor *light dependent resistor*, merupakan salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansi karena adanya perubahan pada penerimaan cahaya pada sensor [6]. Menggunakan 4 buah sensor cahaya yang kemudian bekerja pada sistem ini berfungsi sebagai pembaca dari pergeseran matahari dan ditempatkan pada sudut yang berbeda pada sel surya. Selanjutnya *output* dari sensor *light dependent resistor* dikirim ke

mikrokontroler Arduino dan mengolah data dari sensor *light dependent resistor* tersebut sehingga motor *stepper* dapat bergerak dengan yang diperintahkan [7][11].

Sistem terdiri dari dua motor *stepper*, panel surya *monocrystalline* dengan hasil menunjukkan penghematan biaya sangat membantu pemasokan listrik pada pedesaan, karena tidak memerlukan tempat yang luas serta mengurangi beban pasokan dari jaringan listrik di daerah terpencil [12][13]. Setelah didapati hasil pada *solar tracker*, serta menganalisis nilai dari intensitas radiasi matahari dengan menggunakan alat *pyranometer* [14][15] yang dipasang secara terpisah dari sensor LDR agar didapati hasil daya radiasi yang optimal pada alat *solar tracker* ini [16].

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan panel surya *monocrystalline* dengan *solar tracking dual axis*, serta alat ukur *pyranometer* yang digunakan sebagai pembacaan nilai intensitas radiasi matahari. Digunakan juga sensor LDR sebagai pengindraan arah gerak semu pada matahari untuk mengirimkan perintah kepada motor *stepper* agar permukaan panel surya dapat mengikuti arah pergerakan matahari. Diharapkan dengan sistem yang dibuat dan dilakukan pengujian pada panel surya dapat bekerja sesuai yang diinginkan, sehingga menghasilkan daya dan efisiensi panel surya yang lebih optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian efisiensi daya dengan panel surya *solar tracking dual axis* ini memiliki beberapa permasalahan yang diharapkan dapat diselesaikan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbandingan daya yang dihasilkan *solar tracking dual axis* dan panel surya statis terhadap penyerapan radiasi matahari.
2. Bagaimana efisiensi konversi dengan *solar tracking dual axis* dan panel surya statis pada tiga kondisi cuaca di Kampus FT Untirta.
3. Bagaimanakah pengaruh *shading bar* terhadap hasil perbandingan daya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis.

1.3. Tujuan Penelitian

Pada penelitian efisiensi daya dengan *solar tracking dual axis* ini, memiliki tujuan yang diharapkan dapat tercapai, sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh perbandingan daya yang dihasilkan *solar tracking dual axis* dan panel surya statis terhadap penyerapan radiasi matahari.
2. Menganalisis hasil efisiensi konversi *solar tracking dual axis* dan panel surya statis pada tiga kondisi cuaca di Kampus FT Untirta.
3. Menganalisis pengaruh *shading bar* terhadap hasil perbandingan daya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis.

1.4. Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat penelitian efisiensi daya dengan *solar tracking dual axis*, yaitu sebagai berikut:

1. Sebagai referensi pada penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *solar tracking dual axis* terhadap hubungan intensitas radiasi matahari dengan efisiensi daya yang dihasilkannya.
2. Sebagai referensi pada penelitian selanjutnya tentang pengoptimalan performa dan pengaruh pada hasil dengan *solar tracking dual axis*.

1.5. Batasan Masalah

Dalam penelitian mengenai penerapan *solar tracking dual axis* pada proses panel surya. Menggunakan metode pengindraan posisi matahari yang digunakan pada rangkaian kendali. Ditentukan batasan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Fokus penelitian daya dan efisiensi yang dihasilkan *solar tracking dual axis* dan statis, dengan kondisi cuaca cerah, berawan, dan hujan.
2. Lokasi pengambilan data di Kampus FT UNTIRTA.
3. Panel surya fleksibel berjenis *half-cut monocrystalline* 85 W.
4. *Pyranometer* sebagai pengukur radiasi matahari, dan motor *stepper* NEMA 23 sebagai penggerak panel surya *solar tracking dual axis*.
5. Pengambilan data dilakukan dengan sistem *open circuit*.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan membahas mengenai garis besar yang dibahas dalam penulisan skripsi. Secara garis besar isi pada setiap bab agar memudahkan dalam memahami skripsi ini. Sistematika penulisan pembahasan sebagai berikut.

BAB I

Pada bab I ini menjelaskan tentang sub-bab pembahasan berupa latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II

Pada bab II ini berisi tentang dasar teori yang berkaitan dengan penjelasan tentang fotovoltaiik, jenis-jenis panel surya, *half-cut*, jenis-jenis *solar tracking system*, Arduino, motor *stepper*, sensor LDR, *pyranometer*, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya, *thermogun*, digital *clamp multimeter*, persamaan daya *input*, persamaan daya *output*, efisiensi daya normalisasi, efisiensi konversi, serta kajian pustaka tentang *solar tracking dual axis*.

BAB III

Pada bab III berisi tentang penjelasan tentang metode yang digunakan, alur dalam penelitian, pemodelan rangka *solar tracking dual axis*, perancangan kendali *solar tracking dual axis*, pengujian *solar tracking dual axis*, parameter pengambilan data, kendali serta prinsip kerja alat, komponen penelitian, dan spesifikasi panel surya.

BAB IV

Pada bab IV ini menjelaskan tentang pembahasan dari hasil penelitian yang didapatkan seperti besar daya *output* yang didapatkan, nilai intensitas radiasi matahari, hasil efisiensi daya normalisasi, hasil efisiensi konversi, hasil pengaruh pada *shading bar*. Menggunakan analisis yang sesuai dengan batasan masalah dan parameter yang digunakan.

BAB V

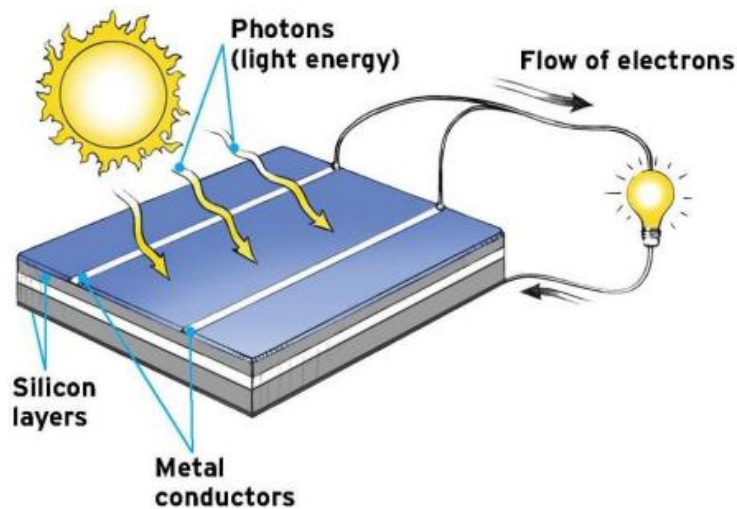
Pada bab V ini menjelaskan tentang simpulan dan saran, tahap berikutnya simpulan yang diperoleh dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panel Surya

Panel surya merupakan pengubah intensitas radiasi matahari menjadi energi listrik. Panel surya menghasilkan arus yang digunakan sebagai pengisian baterai [18]. Panel surya terdiri dari fotovoltaiik yang menghasilkan listrik dari intensitas radiasi yang didapatkan. Fotovoltaiik merupakan proses perubahan energi sinar matahari yang diubah menjadi energi listrik yang dapat dibangkitkan. Foto mempunyai arti sebagai cahaya dan voltaik adalah tegangan. Penjelasan ini yang biasa digunakan untuk menjelaskan sel elektronik untuk memproduksi energi listrik dengan arus searah dari energi radian matahari [17]. Intensitas radiasi berkurang yang biasanya dikarenakan cuaca berawan, dan hujan maka mengakibatkan arus listrik yang dihasilkan berkurang [18]. Detail panel surya pada Gambar 2.1 berikut.

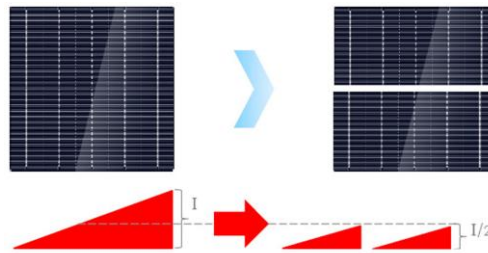


Gambar 2.1 Detail Panel Surya [19]

Pada Gambar 2.1 dengan menambahkan konversi tenaga surya diperlukan penambahan luas panel surya untuk meningkatkan hasil tegangan. Biasanya sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Contohnya ukuran $A \text{ cm} \times B \text{ cm}$ menghasilkan listrik *Direct Current* (DC) sebesar $x \text{ W per hour}$ [20]. Jadi semakin luas permukaan pada panel surya, maka semakin besar daya listrik yang akan dihasilkan oleh panel surya tersebut.

2.2.1. *Half-cut Solar Panel*

Half-cut merupakan jenis pengembangan panel surya terbaru dengan menggandakan jumlah sel dalam sebuah modul. Meskipun memiliki kekurangan mengurangi arus yang dihasilkan pada setiap sel. Tetapi ini merupakan kelebihan karena kehilangan daya panel surya sebagian besar dipengaruhi oleh jumlah arus yang dihasilkannya [21]. Pada Gambar 2.2 merupakan tampak sel *half-cut*.



Gambar 2.2 Perbandingan Sel Panel Surya [21]

Gambar 2.2 merupakan contoh ukuran pada 1 sel panel surya pada umumnya dan panel surya *half-cut*. Efisiensi panel surya *half-cut* lebih optimal karena dapat mengurangi kehilangan daya hingga 75% [21]. Jadi panel surya *half-cut* memiliki penyebaran suhu yang lebih merata pada permukaan panel surya.

2.2.2. *Monocrystalline*

Merupakan panel surya paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15% s.d. 22% [17]. Pada Gambar 2.3 merupakan panel surya *monocrystalline* yang memiliki ketahanan sel paling lama dari semua sel surya berbasis silikon.

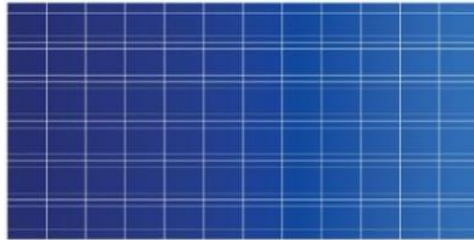


Gambar 2.3 Panel Surya *Monocrystalline* [18]

Gambar 2.3 contoh panel surya *monocrystalline*. Faktanya, umur panel surya jenis ini dapat bertahan hingga 25 tahun untuk panel *monocrystalline* [18]. Kekurangan panel jenis ini berfungsi kurang baik apabila saat radiasi matahari kurang optimal. Efisiensi turun drastis saat cuaca berawan [17].

2.2.3. *Polycrystalline*

Tersusun dari kristal yang acak. Sehingga untuk menghasilkan daya listrik yang sama memerlukan luas permukaan yang lebih luas jika dibandingkan panel surya *monocrystalline*. Pada Gambar 2.4 merupakan panel surya *polycrystalline* yang tetap dapat menghasilkan daya listrik pada saat kondisi mendung [17].



Gambar 2.4 Panel Surya *Polycrystalline* [18]

Gambar 2.4 contoh panel surya *polycrystalline*. Kemurnian kristal silikon tidak semurni *monocrystalline*, sehingga membuat efisiensinya lebih rendah sekitar 13% s.d. 16% [18]. Biasanya kristal pada panel surya *polycrystalline* berwarna biru.

2.2.4. *Thin Film Solar Cell*

Panel surya jenis ini diproduksi dengan menambahkan lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasarnya. Pada Gambar 2.5 dapat terlihat panel surya jenis ini sangat tipis dan mudah rusak pada selnya. Sehingga menjadikannya fleksibel dan cukup ringan [18].

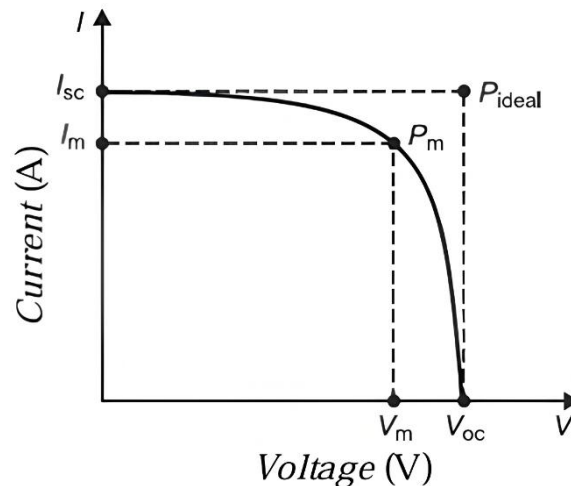


Gambar 2.5 Panel Surya *Thin Film* [18]

Gambar 2.5 contoh panel surya *thin-film*. Jenis ini dikenal dengan nama panel surya *Thin Film Photovoltaic* (TFPV) [18]. Keuntungan dari panel surya *thin film* adalah dapat disimpan pada substrat kaca dan pada substrat fleksibel [19]. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dari panel surya lainnya.

2.2. Parameter Panel Surya

Adapun beberapa parameter untuk mengetahui keefektifan utama pada panel surya. Panel surya merupakan pengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada Gambar 2.6 merupakan parameter yang berfungsi untuk mengetahui tingkat efisiensi yang dihasilkan panel surya.



Gambar 2.6 Kurva I V Panel Surya [22]

Pada Gambar 2.6 merupakan penjelasan parameter yang terdapat pada panel surya. Parameter paling utama yang dapat terlihat, yaitu tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}). Terdapat juga tegangan maksimum (V_m), arus maksimum (I_m), serta yang terakhir adalah efisiensi (η) [22].

1. Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) merupakan tegangan maksimum yang didapatkan pada panel surya dengan cara pengukuran pada rangkaian terbuka menggunakan multimeter. Biasanya diukur dalam satuan *Volt*. Semakin tinggi V_{oc} yang terukur maka semakin baik panel surya tersebut, serta nilai V_{oc} ini tergantung pada pengoperasian panel surya dan teknologi manufaktur yang digunakan [22].
2. Arus hubung singkat (I_{sc}) merupakan arus maksimum yang didapatkan pada panel surya dengan cara pengukuran rangkaian terbuka. Menggunakan multimeter atau dengan menggunakan tang ampere yang kedua kutub kabel positif (+) dan negatif (-) ya dihubung singkat (*short*). Nilai arus maksimum tergantung pada teknologi dan pengoperasian yang digunakan pada panel surya tersebut [22].

3. Tegangan maksimum (V_m) Merupakan tegangan pada saat panel surya digunakan bersamaan dengan beban. Tentu nilai pada V_m lebih kecil dibandingkan V_{oc} , hal ini dikarenakan panel surya bekerja dengan menggunakan beban. Pada beberapa kondisi normal, nilai tegangan maksimum sama dengan 80% s.d. 85% dari V_{oc} panel surya [22]. Jadi dapat dikatakan V_m merupakan tegangan yang didapat pada saat kondisi rangkaian panel surya memiliki beban atau rangkaian tertutup.
4. Arus maksimum (I_m) merupakan arus yang didapatkan pada saat panel surya digunakan bersamaan dengan beban. Nilai daripada I_m lebih kecil dibandingkan dengan I_{sc} , hal ini karena digunakannya beban pada saat panel surya beroperasi. Pada beberapa kondisi normal, nilai arus maksimum sama dengan 90% s.d. 95% dari I_{sc} panel surya [22].
5. Daya *output* panel surya pada perancangan pembangunan PLTS terutama harus diperhitungkan untuk pemakaian beban dari PLTS. Sehingga dapat mengetahui dan menghitung besarnya kapasitas listrik yang dibuat. Berikut merupakan contoh pada kebutuhan beban daya yang digunakan, jumlah panel surya, kapasitas panel [18]. Daya *output* yang dihasilkan oleh panel surya dapat ditulis secara sistematis untuk perhitungan daya seperti yang terdapat pada Persamaan (2.1) berikut [23].

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

Pada Persamaan (2.1) persamaan sistematis daya (P_{out}) panel surya. Dapat diartikan sebagai daya keluaran panel surya (P_{out}) didapatkan dari tegangan (V) yang dikali dengan arus (I) yang didapatkan pada panel surya. Jadi semakin besar tegangan dan arus yang didapatkan maka semakin besar juga daya panel surya. Daya yang dihasilkan panel surya juga sangat dipengaruhi dengan radiasi matahari.

6. Efisiensi daya normalisasi (η_n) adalah perbandingan daya *output* pada panel surya dengan daya maksimal dalam kondisi STC. Dapat dikatakan dalam keadaan pengujian panel surya saat radiasi matahari optimal 1000 W/m² atau keadaan panel surya dapat menyerap cahaya matahari sepenuhnya. Efisiensi daya normalisasi dapat dituliskan dengan menggunakan Persamaan (2.2) berikut [24].

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

Persamaan (2.2) merupakan perbandingan daya *output* yang dibandingkan dengan daya maksimal dalam kondisi STC. Pada saat radiasi matahari optimal 1000 W/m². Terdapat η_n merupakan efisiensi daya normalisasi (%), P_{act} merupakan daya *output* dari panel surya (W), dan P_{max} merupakan daya maksimal dari panel surya kondisi STC (W). Semakin besar nilai efisiensi daya normalisasi maka semakin besar juga daya yang dihasilkan oleh panel surya. Begitu sebaliknya, semakin kecil radiasi matahari yang diterima panel surya maka semakin kecil daya yang dihasilkan panel surya tersebut.

7. Efisiensi Daya Konversi (η_p) merupakan efisiensi yang umum dicantumkan pada *nameplate* panel surya. Efisiensi daya konversi didefinisikan sebagai perbandingan antara energi *output* dari panel surya dengan energi yang disuplai oleh radiasi matahari. Efisiensi ini dapat dicari melalui Persamaan (2.3) dan Persamaan (2.4) berikut [24].

$$P_{in} = G \times A \quad (2.3)$$

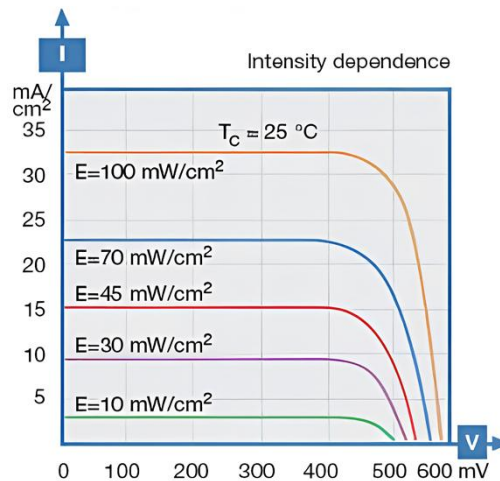
$$\eta_p = \frac{P_{act}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Pada Persamaan (2.3) merupakan perkalian antara radiasi matahari dan luas permukaan panel surya untuk mencari daya *input* panel surya. Pada Persamaan (2.4) merupakan efisiensi daya konversi dari perbandingan antara daya *output* pada panel surya dengan daya *input* panel surya tersebut. Terdapat P_{in} merupakan daya *input* panel surya (W), G merupakan radiasi matahari (W/m²), A merupakan luas permukaan panel surya (m²), η_p merupakan efisiensi daya konversi (%), dan P_{act} merupakan daya *output* panel surya (W). Jadi semakin besar efisiensi daya konversi, maka semakin bagus juga daya yang dihasilkan panel surya tersebut.

2.3. Faktor-faktor Pengaruh Kinerja Panel Surya

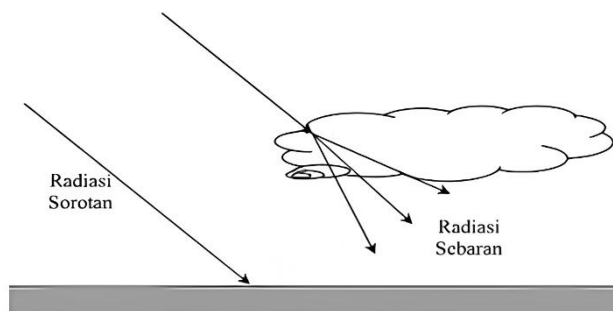
Adapun faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya. Beberapa faktor seperti intensitas radiasi matahari, kebersihan panel surya, suhu, *partial shading*, dan orientasi modul panel surya. Faktor tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Intensitas radiasi matahari melihat pada radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa *range* gelombang, mulai dari 85 nm sampai dengan 4 mikron [25][26]. Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer dan sisanya sampai ke permukaan bumi. Pada Gambar 2.7 merupakan kurva I V terhadap radiasi yang digunakan untuk mengukur besaran radiasi yang diterima sel surya [26].



Gambar 2.7 Kurva Arus dan Tegangan Terhadap Intensitas Radiasi [26]

Pada Gambar 2.7 menggambarkan intensitas radiasi berpengaruh terhadap perubahan tegangan *open circuit* (V_{oc}) [26]. Tegangan *open circuit* semakin berkurang ketika intensitas radiasi dikurangi tetapi perubahannya tidak signifikan. Gambar 2.8 karena faktor sebaran radiasi yang diterima oleh permukaan bumi memiliki intensitas yang berbeda-beda tiap saatnya.



Gambar 2.8 Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran Permukaan Bumi [27]

Pada Gambar 2.8 dapat terlihat faktor tersebutlah yang menyebabkan arah datang sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi. Dapat dikatakan membentuk sudut tertentu, sehingga sinar matahari tersebut

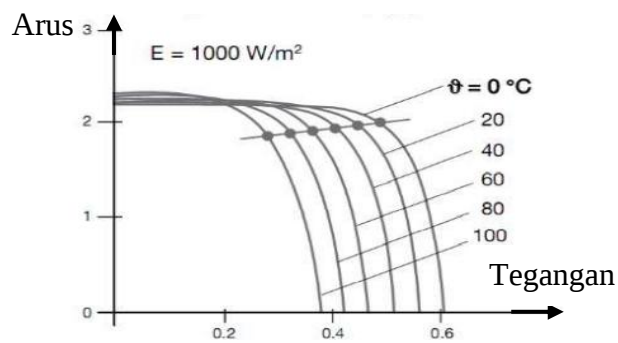
mengalami difusi oleh atmosfer bumi [27]. Sehingga terjadinya difusi pada sinar matahari oleh atmosfer bumi tersebut juga yang membuat intensitas radiasi matahari menjadi kecil. Indonesia terdapat tiga kondisi cuaca, pada Gambar 2.9 merupakan kondisi cuaca cerah, berawan, dan hujan. Kondisi cuaca cerah rata-rata intensitas radiasi matahari dalam satu hari $543,5 \text{ W/m}^2$ dengan puncak di atas 1000 W/m^2 [28][29]. kondisi langit pada kondisi cuaca cerah tampak berwarna biru cerah bersih dari awan. (Gambar 2.9a)



Gambar 2.9 Kondisi Langit; (a) Cerah, (b) Berawan, (c) Hujan

Dapat terlihat perbedaan kondisi keadaan langit pada Gambar 2.9. Adapun rata-rata intensitas radiasi matahari selama satu hari pada kondisi cuaca berawan $456,5 \text{ W/m}^2$ [28]. Kondisi langit pada saat kondisi cuaca berawan tampak matahari dan langit tentu banyak tertutupi awan (Gambar 2.9b). Adapun saat kondisi cuaca hujan tentu intensitas radiasi matahari sangat rendah. Rata-rata intensitas radiasi matahari selama satu hari pada saat kondisi berawan $348,4 \text{ W/m}^2$ [28]. Kondisi langit saat kondisi cuaca hujan tampak gelap serta matahari yang tidak terlihat dan banyaknya awan yang disertai turunnya air hujan. (Gambar 2.9c)

2. Kondisi kebersihan panel surya melihat pada kebersihan panel surya sangat penting dalam meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan apabila panel surya dalam keadaan berdebu maka mengurangi efisiensi daya pada panel surya. Semakin bersih permukaan panel surya maka semakin baik hasil efisiensi daya yang dihasilkan [26].
3. Suhu panel surya optimal pada suhu 25°C . Semakin tinggi suhu pada panel surya maka berdampak pada pengisian daya yang dihasilkan oleh panel surya [30]. Kurva $I V$ terhadap perubahan suhu pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Kurva Arus dan Tegangan Terhadap Perubahan Suhu [26]

Pada Gambar 2.10 merupakan kurva arus dan tegangan terhadap perubahan suhu. Panel surya optimal ketika berhadapan langsung dengan matahari dalam pengertian posisi permukaan panel surya langsung berhadapan dengan matahari [30]. Suhu memiliki peran penting dalam panel surya, untuk suhu pada panel surya tinggi penurunannya mencapai 25°C .

4. *Partial shading* melihat dari daya yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga surya yang terhubung ke jaringan besar sangat bergantung pada radiasi matahari. Permasalahan *partial shading* diakibatkan oleh bayangan pohon dan gedung yang menutupi permukaan *array* panel surya [31][32]. Semakin banyak area *partial shading* dari paparan matahari langsung maka daya keluaran panel surya semakin berkurang [31].
5. Orientasi modul panel surya melihat pada efisien modul panel surya meningkat jika berada pada sudut 90° dengan menghadap sinar matahari. Poros bumi dengan kemiringan $23,45^{\circ}$ terhadap bidang dari orbit bumi oleh matahari [26]. Semakin sesuai derajat kemiringan terhadap arah pergerakan matahari maka semakin besar juga efisiensi dayanya. Pada wilayah Cilegon panel surya dengan orientasi sudut kemiringan tetap 15° [29] memiliki hasil radiasi dan daya yang optimal [33].

2.4. *Solar Tracking System*

Solar tracking system merupakan sistem penggerak yang mengikuti arah pergerakan matahari. Diharapkan dapat menghasilkan daya yang lebih optimal pada panel surya. Hal ini dikarenakan permukaan panel surya selalu menghadap dan mengikuti arah pergerakan matahari.

Permukaan panel surya yang menghadap pada arah matahari membuat panel surya memiliki efisiensi daya yang dihasilkan lebih tinggi apabila dibandingkan panel surya statis. Berdasarkan jumlah sudut putarnya ada dua jenis *solar tracking*, yaitu *single axis solar tracking* dan *dual axis solar tracking* [34].

2.4.1. *Solar Tracking Single Axis System*

Merupakan sistem pergerakan panel surya mengikuti arah matahari dari timur ke barat dengan satu sumbu derajat untuk berotasi, yaitu sumbu pada sudut *altitude*. *Single axis system* dapat meningkatkan efisiensi daya pada panel surya sebesar 30% apabila dibandingkan dengan panel surya statis [34]. Detail pada panel surya *single axis* terdapat pada Gambar 2.11 berikut.

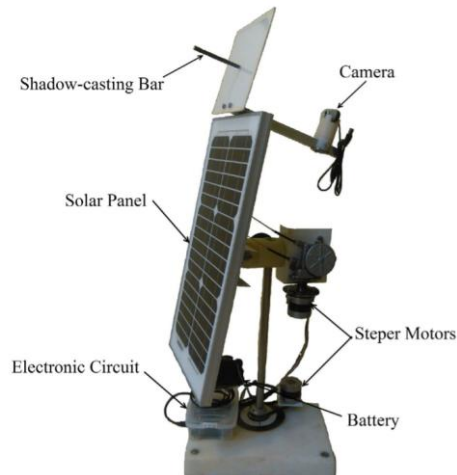


Gambar 2.11 Contoh *Solar Tracking Single Axis System* [11]

Seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.11 merupakan contoh pada *solar tracking single axis system*. Pada *single axis system* memiliki satu motor sebagai penggerak. Pengembangan ini merupakan salah satu contoh peningkatan efisiensi pada panel surya agar mendapatkan hasil daya yang lebih optimal.

2.4.2. *Solar Tracking Dual Axis System*

Merupakan sistem pergerakan panel surya mengikuti matahari yang memiliki dua sumbu derajat untuk berotasi, yaitu sudut *altitude* dan *azimuth*. Meningkatkan efisiensi daya sebesar 35% s.d. 40%, jika dibandingkan panel surya statis [34]. Detail pada panel surya *dual axis* terdapat pada Gambar 2.12 berikut.

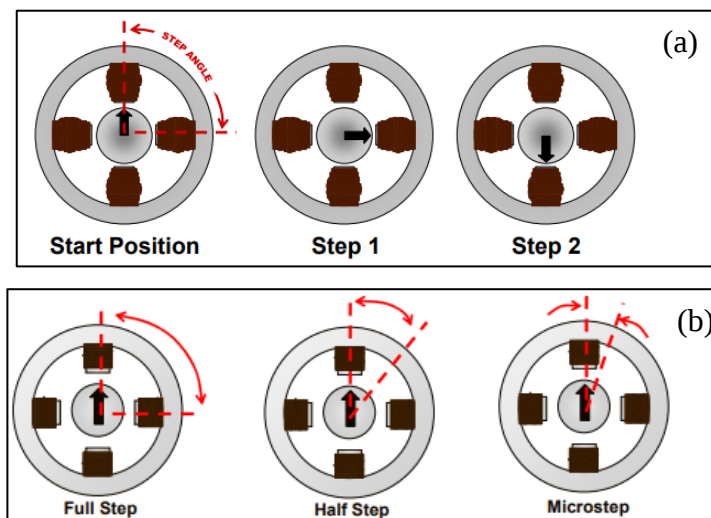


Gambar 2.12 Contoh *Solar Tracking Dual Axis System* [12]

Seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.12 merupakan contoh pada *solar tracking dual axis*. Panel surya *dual axis system* menggunakan dua buah motor sebagai penggerak kedua sumbunya. Pengembangan ini merupakan peningkatan efisiensi panel surya agar mendapatkan hasil daya lebih optimal.

2.5. Motor Stepper

Motor *stepper* bergerak dalam langkah-langkah yang sangat jelas terlihat selama pergerakan rotasinya. Setiap langkahnya didefinisikan dengan sebuah istilah yang disebut dengan *step angle*. Bahwa terdapat 4 langkah yang jelas agar rotor bisa menghasilkan satu rotasi lengkap sebesar 360° . Gambar 2.13 tersebut mendefinisikan sebuah *step angle* sebesar 90° [35].



Gambar 2.13 *Motor Stepper*; (a) Pola *Step Angel*, (b) Pola *Stepping* [35]

Terdapat tiga pola *stepping* berbeda yang digunakan untuk mempengaruhi posisi terindeks dari *shaft* atau rotor. Pola-pola tersebut adalah *full stepping*, *half-stepping* dan *microstepping*. seperti yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.13 [36]. Adapun detail pada contoh motor *stepper* pada Gambar 2.14 berikut.

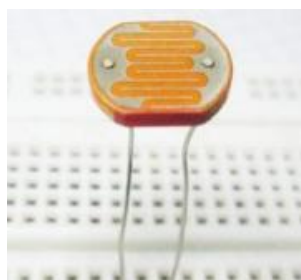


Gambar 2.14 Contoh Motor *Stepper* [37]

Gambar 2.14 merupakan contoh motor *stepper*. Motor *stepper* merupakan motor digital karena motor ini bergerak secara diskrit. Karakteristik ini yang menjadikan motor *stepper* sesuai untuk sistem antarmuka dengan mikrokontroler.

2.6. Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR)

Salah satu jenis sensor cahaya adalah *Light Dependent Resistor* (LDR). Dapat membuat alat yang berkaitan dengan cahaya seperti jemuran otomatis, *tracking* arah sumber cahaya matahari, dan banyak lagi lainnya [38]. Biasanya sensor LDR yang berada di sekitar umum berukuran 4 mm dan 11 mm, Gambar 2.15 merupakan sensor LDR dengan ukuran 4mm.



Gambar 2.15 Sensor LDR [38]

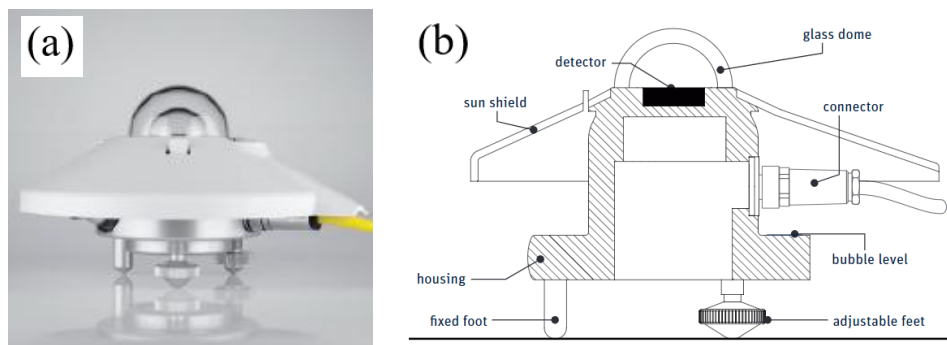
Seperti yang terlihat pada Gambar 2.15, LDR disebut juga sebagai *photoresistor* karena memiliki resistansi yang berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Dalam kondisi gelap, resistansi LDR bisa mencapai 10 M Ω , tapi dalam kondisi terang, resistansi LDR turun hingga 1 k Ω bahkan bisa kecil lagi. Sifat inilah yang membuat LDR sebagai sensor cahaya [38].

Karakteristik LDR terdiri dari dua macam, yaitu laju *recovery* dan respon spektral. Dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Laju *recovery* merupakan ukuran kenaikan nilai resistansi dalam waktu tertentu. LDR tipe arus kecepataannya lebih dari 200 kilo per detik, kecepatan tersebut lebih tinggi pada arah sebaliknya, yaitu pindah dari tempat gelap ke tempat terang yang memerlukan waktu kurang dari 10 Ms untuk mencapai resistansi *level* cahaya 400 lux [39].
2. Respons spektrum pada sensor LDR tidak mempunyai sensitivitas yang sama, setiap panjang gelombang cahaya yang jatuh padanya biasanya dalam warna pada cahaya [39]. Pada keadaan gelap tanpa cahaya, LDR memiliki nilai resistansi yang besar. Pada keadaan terang atau pada siang hari nilai resistansinya dapat mengecil, lebih kecil dari 1 k Ω [39].

2.7. *Pyranometer*

Pyranometer merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari. Pengukuran radiasi gelombang pendek matahari ataupun radiasi global serta radiasi *diffuse* dari spektrum 85 Nm sampai dengan 850 Nm [40]. Radiasi global merupakan radiasi matahari yang diterima sudut ruang 2π steradian atau berbentuk setengah bola pada permukaan horizontal [41][42]. Alat ukur *pyranometer* seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.16 berikut.

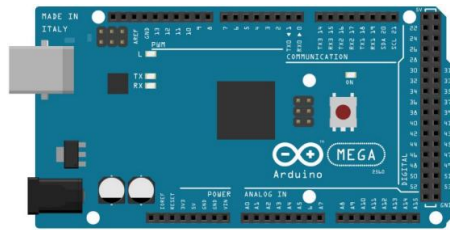


Gambar 2.16 Alat Ukur *Pyranometer*: (a) Bentuk Fisik; (b) Bagian *Pyranometer* [43]

Gambar 2.16a merupakan penampakan *pyranometer* secara nyata. Adapun detail pada penggambaran bagian *pyranometer* pada Gambar 2.16b. terlihat seperti kaca dibagian atas, terdapat juga konektor sebagai penghubung ke perangkat. Adapun pengatur level kemiringan pada *pyranometer* agar dapat sejajar atau rata.

2.8. Arduino

Merupakan perangkat pengendali mikro *single board* yang bersifat *open source*. Dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang [44]. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa C [44]. Contoh Arduino mega seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.17 berikut.



Gambar 2.17 Arduino Mega 2560 [45]

Gambar 2.17 merupakan contoh Arduino yang digunakan, yaitu Arduino MEGA 2560. Merupakan papan mikrokontroler Atmega2560 yang memiliki 54 *pin* digital *input* dan *output*. Berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau *power* adaptor AC DC atau baterai.

2.9. Digital Clamp Multimeter

Digital *clamp multimeter* merupakan alat ukur untuk mengukur aliran arus listrik. Tang ampere dapat difungsikan sebagai *multimeter*. Apabila menggunakan dua *probe* yang terdapat pada tang ampere digunakan mengukur tegangan listrik AC atau DC, arus listrik AC atau DC, resistansi, frekuensi, dan kapasitas [46]. Pada Gambar 2.18 merupakan digital *clamp multimeter* yang digunakan.



Gambar 2.18 Digital Clamp Multimeter

Pada Gambar 2.18 merupakan alat ukur yang bekerja tidak terkontak langsung dengan terminal arus yang diukur, sehingga aman dari sengatan listrik berbahaya. Tidak mengganggu juga pada rangkaian listrik yang dilakukan pengukuran. Digital *clamp multimeter* ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

2.10. *Thermogun*

Thermogun merupakan alat ukur suhu yang menggunakan inframerah dengan pengukuran jarak tertentu. Pada penelitian ini menggunakan *thermogun* yang biasa digunakan dalam aktivitas industri. Memiliki sensitivitas inframerah sebesar 8 s.d. 14 μm , dengan ketelitian sebesar 0,1 s.d. 1 % pada pembacaan nilainya [47]. Gambar 2.19 merupakan contoh *thermogun* pada penelitian.



Gambar 2.19 *Thermogun*

Pada Gambar 2.19 merupakan contoh *thermogun* tidak memerlukan kontak langsung pada media yang ingin di ukur suhunya. *Thermogun* ini mempunyai tingkat keakuratan yang baik karena biasanya digunakan pada industri yang menjadikan *thermogun* ini bagus. Semakin dekat pengukuran yang dilakukan dengan *thermogun* maka semakin besar tingkat akurasinya.

2.11. *Kajian Pustaka*

Pada sub bab kajian pustaka ini membahas tentang penelitian terdahulu. Terkait penelitian sebelumnya tentang efisiensi daya dan besarnya intensitas radiasi matahari yang didapatkan dengan *solar tracking dual axis*. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang menjadi landasan pada penelitian yang dilakukan.

Hasil penelitian yang telah dilakukan [7] dengan panel surya *polycrystalline* 22.5 W yang bertujuan membangun *solar tracking dual axis system* dengan biaya

rendah, hasil efisiensi daya lebih besar 40% dibandingkan panel surya sistem statis. Penelitian ini menggunakan penggerak aktuator dengan daya yang kecil.

Penelitian yang berbeda pada [11] dengan menggunakan *single axis system* tetapi tetap dapat mendapatkan nilai efisiensi yang sama besar 30.03%, meskipun pada pengambilan datanya dengan sistem atau sistem rangkaian tertutup digunakan beban aktuator hidrolik sebagai penggeraknya serta lampu sebagai penanda apabila panel surya tersebut bekerja dengan baik atau tidak.

Adapun penelitian terlebih dahulu [2] yang dilakukan di Indonesia yaitu di daerah Medan, hasil pengujian yang telah dilakukan selama 8 jam dengan interval waktu pengambilan per 10 menit. Didapati nilai intensitas rata-rata yang didapatkan pada pengujian sebesar $408,10 \text{ W/m}^2$ serta untuk hasil efisiensi yang didapatkan cukup kecil yaitu sebesar 4.21%, hal ini dikarenakan pada saat pengambilan data banyak faktor-faktor yang membuat hasil yang didapatkan kurang optimal.

Hasil penelitian yang telah dilakukan [48] pada tahun 2022, dengan konsumsi daya yang lebih rendah. Sistem panel surya *solar tracking dual axis* adalah salah satu cara terbaik untuk meningkatkan produksi energi dari panel surya, sekitar 10%–50% tambahan energi surya dapat dikumpulkan dengan menggunakan sistem *solar tracking dual axis* dibandingkan dengan sistem sudut tetap. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada lokasi (terutama lintang) dan kondisi iklim, karena iklim sangat mempengaruhi hasil daya yang didapatkan oleh panel surya.

Adapun penelitian yang telah dilakukan [49] dengan panel surya 200 W untuk mengoptimalkan *solar tracking dual axis* yang dibandingkan dengan panel surya *single axis* dapat menghasilkan rata-rata tegangan 19,72 V, arus 1,34 A, dan daya 26,82W, sedangkan *solar tracking dual axis* menghasilkan rata-rata tegangan 18,93 V, arus 1,9 A, dan daya 35,76 W. Sistem rangkaian *close loop*, *solar tracking dual axis* menghasilkan daya lebih optimal dibandingkan panel surya sistem statis.

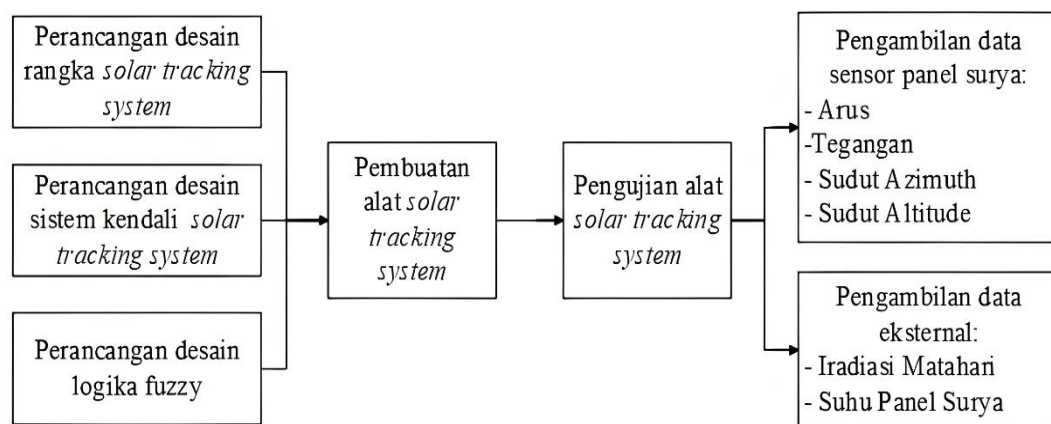
Berdasarkan hasil penelitian [2][7][11][48][49] sebagai rujukan kajian pustaka dari penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan ini menggabungkan permasalahan yang ada dan mencoba mengatasi dengan menggunakan metode yang telah dipaparkan. Penelitian ini menggunakan panel surya *half-cut monocrystalline* berkapasitas 85 WP dengan *solar tracking dual axis* yang dilakukan selama 9 hari dengan pengujian dari jam 06:00 s.d. 18:00 dalam interval waktu per 1 jam.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. *Capstone Project*

Penelitian skripsi yang telah dilakukan ini secara *capstone* dengan 2 mahasiswa, yaitu Albertus Sera Sasmita (3332190092) dan Muhammad Firman Fauzy (3332190024). Pada penelitian yang telah dilakukan mempunyai topik dan isi pembahasan skripsi yang berbeda setiap mahasiswanya. Pembagian topik-topik pembahasan setiap mahasiswa dapat terlihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Capstone Project

Pada Gambar 3.1 merupakan diagram *capstone project solar tracking dual axis*. Karena penelitian ini merupakan *capstone project*, maka terdapat beberapa pembagian kinerja dan topik yang telah dikerjakan. Terdapat 2 topik utama pembahasan pada *capstone project* skripsi yang telah dilakukan. Topik pembahasan pertama dilakukan Albertus Sera Sasmita yang mempunyai 3 bagian, yaitu analisis *output* daya yang dihasilkan panel surya, analisis efisiensi normalisasi pada panel surya, dan analisis efisiensi konversi pada panel surya. Adapun topik pembahasan kedua dilakukan Muhammad Firman Fauzy yang mempunyai 3 bagian, yaitu merancang logika Fuzzy yang diimplementasikan pada *solar tracking dual axis*, menganalisis kesalahan sudut yang terjadi pada *solar tracking dual axis* dengan menggunakan metode logika Fuzzy, dan mengetahui peningkatan daya panel surya dengan menggunakan *solar tracking dual axis* jika dibandingkan dengan panel surya statis.

3.2. Alur Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat sesuai dengan alur pada penelitian yang ada. Alur penelitian ini memudahkan dalam perancangan dan pembuatan laporan atau pun alat. Dalam alur penelitian tentu terdapat runtutan proses atau tahap yang terdapat pada penelitian.

Terdapat 6 tahapan alur proses untuk mencapai hasil yang diharapkan. Bermula pada tahapan studi literatur, pemodelan rangka, dan kendali *solar tracking dual axis system*, pengujian alat, pengambilan data, serta pembuatan laporan penelitian. Ke-enam tahapan proses tersebut dijabarkan sebagai berikut ini.

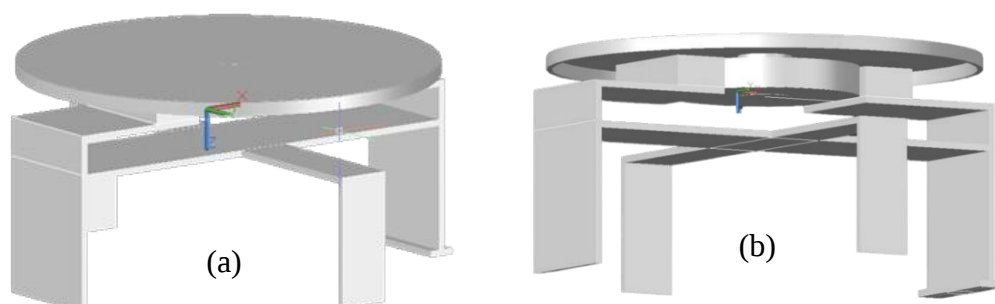
3.2.1. Studi Literatur

Bertujuan untuk mencari informasi tentang perancangan alat *solar tracking dual axis*. Menggunakan metode pengindraan pada arah datangnya radiasi matahari. Sehingga motor *stepper* dapat bergerak sesuai pembacaan sensor LDR. Dilakukan menggunakan panel surya 85 WP bertipe fleksibel *monocrystalline half-cut*.

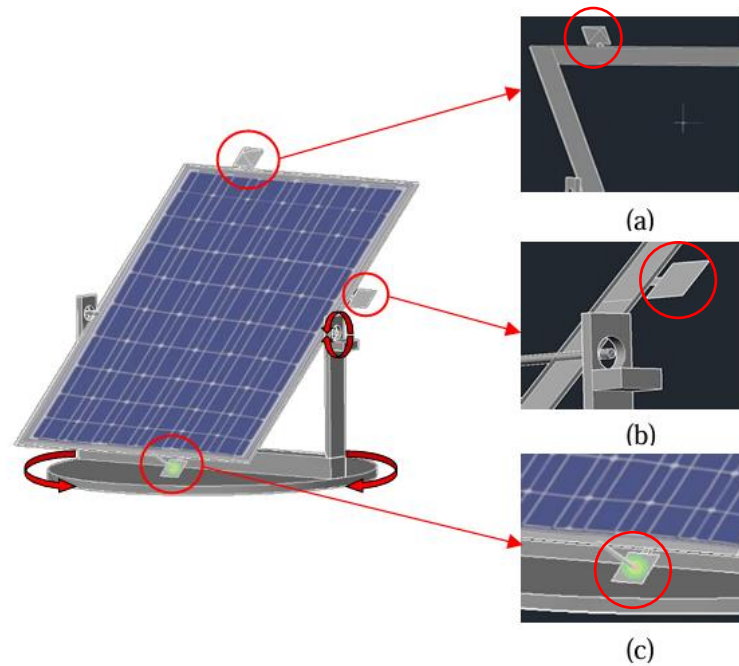
Studi literatur bertujuan mengurangi hal yang dapat membuat penelitian menjadi lama. Pengembangan inovasi dari yang sudah ada terdahulu. Jadi studi literatur sebagai pedoman dalam penelitian mengembangkan penelitiannya.

3.2.2. Pemodelan Rangka *Solar Tracking Dual Axis System*

Bertujuan untuk memaparkan desain rangka yang digunakan pada *solar tracking dual axis* ini. Pemodelan rangka ini dibuat sebagai penggambaran mengenai alat yang dibuat serta mengurangi kesalahan pembuatan alat. Desain pemodelan rangka dapat terlihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.2 Rangka Bawah Panel Surya; (a) Tampak Atas, (b) Tampak Bawah



Gambar 3.3 Penempatan Komponen Rangka Atas Panel Surya; (a) Sensor LDR, (b) *Pyranometer*, (c) *Shading bar*

Pada Gambar 3.2 merupakan pemodelan rangka bawah *solar tracking dual axis*. Pada Gambar 3.3 merupakan penempatan komponen pada rangka, yaitu penempatan sensor LDR, alat ukur *pyranometer*, dan penempatan *shading bar* yang berfungsi sebagai peninjau panel surya menghadap dengan arah datang matahari.

3.2.3. Perancangan Sistem *Solar Tracking Dual Axis System*

Bertujuan untuk mengetahui sistem pergerakan *solar tracking dual axis* dapat bekerja sesuai, yaitu sensor LDR membaca arah pada pergerakan matahari, dan terdapat dua motor *stepper* sebagai penggerak. Penggambaran SLD pada Lampiran E Gambar E.4. Dibuatnya SLD untuk memudahkan pembuatan alat.

Perancangan sistem juga dibutuhkan agar tidak terjadi kesalahan pada pembuatan alat. Sehingga pengerjaan alat pada penelitian akan semakin efektif dan tidak memakan waktu yang lama. Adapun penggambaran komponen jelasnya pada aplikasi fritzing seperti yang dapat terlihat pada Lampiran E Gambar E.6.

3.2.4. Pengujian Alat *Solar Tracking Dual Axis System*

Bertujuan untuk menguji *solar tracking dual axis* dapat mengoptimalkan hasil dayanya. Pengujian alat dilakukan dengan mengambil data pada waktu pukul

06:00 s.d. 18:00 dengan 3 jenis kondisi cuaca yang berbeda. Dilakukan selama 3 hari di setiap kondisi cuacanya, yaitu kondisi cuaca cerah, berawan, serta hujan.

Data yang diperoleh adalah efisiensi daya yang didapatkan dari tegangan, arus, dan radiasi matahari. Diharapkan *solar tracking dual axis* mendapatkan hasil daya yang optimal. Permukaan panel surya juga dapat sejajar dengan arah datangnya matahari dilihat dari titik jatuh bayangan pada *shading bar*.

3.2.5. Desain Pengambilan Data

Terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan dalam penelitian ini. Detail dari proses pengambilan hasil data dapat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut ini. Parameter berfungsi sebagai penjabaran desain pengambilan data.

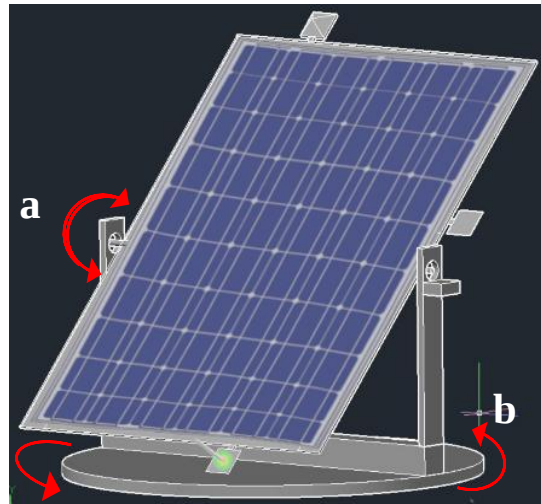
Tabel 3.1 Desain Eksperimen Pengambilan Data

Desain	Parameter	Deskripsi
Lingkungan	Waktu	06:00 s.d. 18:00 WIB
	Tempat pengambilan	Kampus FT UNTIRTA
	Suhu lokal	24 s.d. 32°C (Cilegon, Indonesia)
	Suhu panel surya	Efisien di bawah 25°C
	Kondisi cuaca	Cerah, berawan, hujan
Subjek	Radiasi matahari	Jumlah intensitas radiasi matahari
Alat ukur	Tang ampere	Mengukur arus panel surya
	<i>Pyranometer</i>	Mengukur intensitas radiasi matahari
	<i>Shading bar</i>	Mengukur derajat kesalahan sudut
Sistem kendali	Arduino Mega 2560	Mikrokontroler
	Sensor LDR	4 Pcs sensor LDR
	Motor <i>stepper</i>	2 Pcs motor <i>stepper</i>
	<i>Voltage Sensor</i>	Pendeteksi Tegangan
	<i>Real Time Clock</i>	Penyimpan data waktu secara <i>real time</i>
	<i>Micro SD Card Adapter</i>	Penyimpanan <i>datalogger</i>
Panel surya	<i>Monocrystalline</i>	Kapasitas 85 WP

Tabel 3.1 ditunjukkan detail proses eksperimen pengambilan data. Terdapat parameter lingkungan, subjek, alat ukur, sistem kendali, dan parameter pada panel surya tersebut. Pada proses pengambilan data digunakan subjek radiasi matahari dengan pengambilan data pada jumlah intensitas radiasi matahari yang didapatkan.

3.3. Prinsip Kerja Solar Tracking Dual Axis System.

Berikut ini merupakan prinsip kerja *solar tracking dual axis*. Pada Gambar 3.4. terlihat tampilan tampak atas dan penggambaran prinsip kerja serta penempatan posisi panel surya. Dari prinsip kerja alat diketahui apakah alat dapat bekerja sesuai dengan yang di inginkan, yaitu alat dapat mengikuti pergerakan arah datangnya radiasi matahari. Sehingga mendapatkan hasil efisiensi yang lebih optimal.



Gambar 3.4 Penempatan dan Cara Kerja *Solar tracking dual axis*

Agar didapatkan hasil yang lebih optimal. Adapun cara kerja pada panel surya *solar tracking dual axis* ini seperti yang dapat terlihat seperti pada Gambar 3.4. Merupakan pengembangan pada penelitian yang ada pada sebelumnya, yaitu sebagai berikut.

1. Pada *point* (a) merupakan koordinat *axis* pertama dengan arah putaran mengikuti sumbu *altitude* yang dapat berputar 90° .
2. Pada *point* (b) merupakan koordinat *axis* kedua dengan arah putaran mengikuti sumbu *azimuth* yang dapat berputar 360°

3.4. Komponen Penelitian

Komponen penelitian yang digunakan pada alat sebagai penunjang terhadap penelitian. Komponen penelitian terbagi menjadi dua, yaitu *hardware* dan *software*. Pada Tabel 3.2 merupakan komponen yang digunakan pada penelitian panel surya *solar tracking dual axis*. Diharapkan dengan komponen yang digunakan dapat menunjang dan mengoptimalkan kerja pada alat yang dibuat.

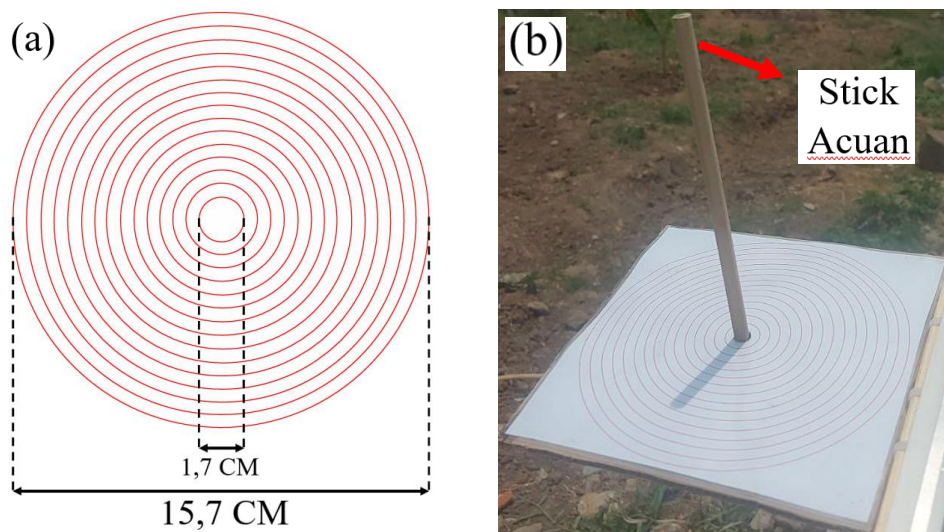
Tabel 3.2 Komponen Penelitian

No	Hardware	Software
1	Micro SD card adaptor	MatLab
2	Power supply 24 Volt 15A	Arduino IDE
3	Arduino Mega 2560	Microsoft Visio
4	Driver motor stepper YS-DIV268N-5A	Fritzing
5	Motor stepper Nema 23	AutoCAD-Solidworks
6	Voltage sensor	
7	Sensor RTC DS3231	
8	Sensor MPU6050	
9	Sensor HMC5883L	
10	Pyranometer	
11	Sensor Light Dependent Resistor (LDR)	

Pada Tabel 3.2 merupakan komponen utama dalam penelitian alat. Komponen penunjang diharapkan dapat memaksimalkan kerja pada *solar tracking dual axis* agar dapat bekerja sesuai yang diinginkan dan optimal. Komponen-komponen penunjang ini memaksimalkan data yang didapatkan pada penelitian.

3.5. Shading bar

Shading bar merupakan kumpulan bar lingkaran. Berfungsi mengukur tingkat akurasi permukaan panel surya terhadap matahari, dilihat dari titik jatuh bayangan pada *shading bar*. Karena perbedaan sudut derajat pergerakan matahari tiap jamnya 15° , maka dilakukan pengukuran gerak semu tahunan matahari dengan tinggi *stick* acuan 15cm pada jam 11:00, 12:00, dan 13:00 WIB kondisi cuaca terik. Penggambaran *shading bar* dapat terlihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Penggambaran *Shading bar*; (a) Ukuran Lingkaran, (b) Contoh *Shading bar*

Gambar 3.5 merupakan ukuran lingkaran dan contoh *shading bar*. Dari pengukuran didapati perbedaan panjang titik jatuh bayangan pada setiap jamnya 15,7 cm. Ukuran *shading bar* dilebihkan 0,7 cm dikarenakan diameter pada *stick* acuan tersebut 0,7 cm. 1 cm diameter lingkaran merepresentasikan 0,5° kesalahan sudut. Adanya *shading bar* dapat terlihat apakah panel surya *solar tracking dual axis* dapat pekerja sesuai yang diinginkan atau tidak.

3.6. Spesifikasi Panel Surya

Pada penelitian ini menggunakan panel surya berjenis *half-cut* fleksibel *monocrystalline*. Berkapasitas daya maksimal sebesar 85 W. Pada spesifikasi dan *nameplate* panel surya dapat dilihat pada Tabel 3.3, dan Gambar E.7. Pada panel surya yang digunakan juga sudah dilakukan pengujian dengan intensitas radiasi matahari 1000 W/m², sesuai *nameplate* keadaan STC (*Standard Test Condition*).

Tabel 3.3 Spesifikasi Panel Surya

No	Spesifikasi	<i>Monocrystalline</i>
1	Model	DFSP-85M
2	Luas panel surya (m ²)	0,45 m ²
3	Voc (V)	22,5 V
4	Isc (A)	4,97 A
5	Vmp (V)	18 V
6	Imp (A)	4,72 A
7	Pmax (Wp)	85W ± 3%
8	Effisiensi (%)	22%
9	Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	-45°C s.d. 80°C

Pada Tabel 3.3 dapat terlihat penelitian menggunakan panel surya fleksibel karena panel surya fleksibel memiliki bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan panel surya rigit. Meskipun efisien dari panel surya fleksibel ini sering dikatakan kurang bagus, tetapi panel surya fleksibel yang digunakan pada penelitian ini berjenis *half-cut* yang merupakan teknologi perkembangan terbaru pada panel surya. Dapat juga dijabarkan untuk *technical* parameter panel surya pada Lampiran E Gambar E.7.

BAB IV

ANALISIS DAN HASIL

4.1. *Solar Tracking Dual Axis System*

Kata *solar tracking dual axis system* merupakan panel surya yang dirancang dengan menggunakan penggerak pada kedua *axis* agar dapat mengikuti arah pergerakan radiasi matahari. Jadi *solar tracking dual axis* merupakan sistem panel surya dua *axis* yang dapat mengikuti arah pergerakan radiasi matahari secara otomatis. Tanpa dibutuhkan tenaga manusia untuk pergerakan pada alat tersebut. Dapat terlihat pada Gambar 4.1 merupakan panel surya *half-cut monocrystalline*.



Gambar 4.1 Panel Surya *Half-cut Monocrystalline* 85 W

Pada penelitian ini panel surya merupakan komponen utama penelitian yang dijadikan sebagai objek yang diteliti untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan. Panel surya ini merupakan pengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada Gambar 4.1 dapat terlihat panel surya yang digunakan dalam penelitian berjenis fleksibel *half-cut monocrystalline* dengan kapasitas 85 W.

Sistem rangkaian yang digunakan pada pengambilan data perbandingan panel surya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis bersifat *open circuit* (rangkaiannya terbuka). Pengambilan data panel surya statis atau diam dengan menggunakan sudut kemiringan sebesar 15° , yang merupakan sudut terbaik untuk penyerapan radiasi matahari. Lampiran E Gambar E.3 merupakan pengaplikasian panel surya statis pada lokasi pengambilan data.

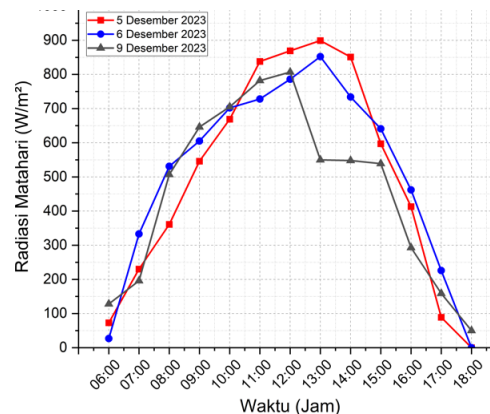
4.2. Hasil Data Penelitian

Pengambilan data penelitian dilakukan selama 9 hari pada jam 06:00 s.d. 18:00. Dapat terbagi menjadi 3 kondisi cuaca, yaitu cerah, berawan, dan hujan yang diambil selama 3 hari pada tiap kondisi cuacanya. Hal ini dikarenakan untuk mengetahui kinerja pada *solar tracking dual axis* pada berbagai kondisi cuaca.

Pada pengambilan data panel surya statis menggunakan sudut kemiringan sebesar 15° . Berikut hasil penelitian panel surya *solar tracking dual axis* yang dibandingkan dengan panel surya statis pada tiap kondisi cuacanya. Penempatan pengambilan data dua panel surya dapat terlihat pada Gambar D.1

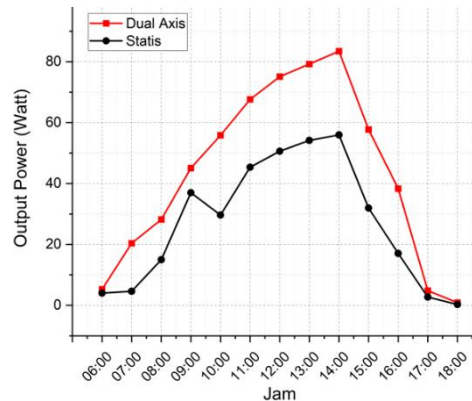
4.2.1. Kondisi Cuaca Cerah

Pengujian pada kondisi cuaca cerah dilakukan untuk mengetahui bagaimana performa panel surya pada saat menggunakan *solar tracking dual axis*. Tentu pada saat kondisi cuaca cerah performa pada panel surya semakin baik apabila panel surya itu sendiri tidak terlalu panas. Pengambilan data radiasi matahari dengan menggunakan alat ukur *pyranometer*. Berikut merupakan hasil pengujian yang dilakukan selama tiga hari pada kondisi cuaca cerah. Pada Gambar 4.2 merupakan grafik intensitas radiasi matahari kondisi cuaca cerah selama tiga hari.



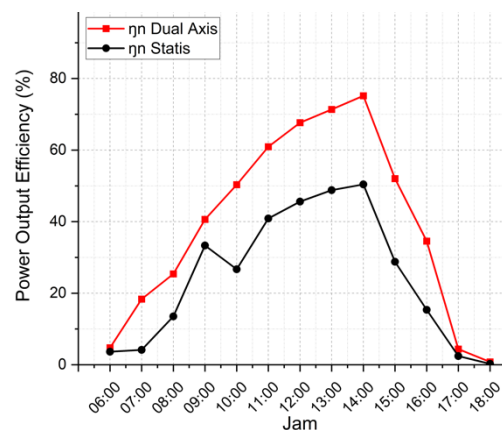
Gambar 4.2 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Cerah

Pengambilan data kondisi cuaca cerah hari pertama dilakukan pada tanggal 5 Desember 2023. Pada Gambar 4.2 (garis merah) didapati radiasi matahari yang lebih tinggi sebesar 838 W/m^2 s.d. 899 W/m^2 pada jam 11:00 s.d. 14:00 apabila dibandingkan dengan hari lainnya, dikarenakan keadaan langit saat jam tersebut cukup bersih dari awan. Hasil data *realtime* yang didapatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbandingan Daya Hari Pertama 5 Desember 2023

Daya *realtime* yang didapatkan dari hasil perhitungan data tegangan dan arus (Persamaan (2.1)). Pada Gambar 4.3 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* hari pertama yang diperoleh antara *solar tracking dual axis* (garis merah) dengan panel surya statis (garis hitam). Terdapat puncak daya *realtime* pada jam 14:00 *solar tracking dual axis* didapati hasil daya *realtime* yang lebih tinggi sebesar 83,4 W, sedangkan untuk panel surya statis didapati hasil daya *realtime* yang lebih rendah sebesar 56 W. Dari hasil perhitungan daya *realtime* ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya efisiensi daya normalisasi. Grafik efisiensi daya hari pertama kondisi cuaca cerah dapat terlihat pada Gambar 4.4 berikut.

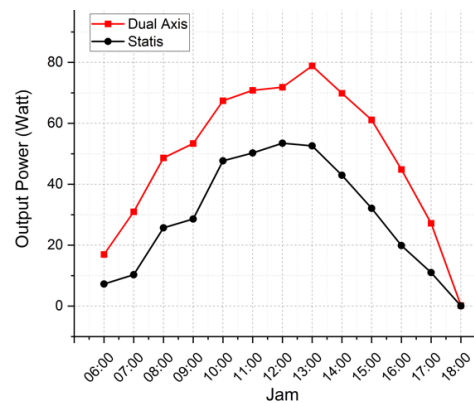


Gambar 4.4 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 5 Desember 2023

Performa pada panel surya tidak dapat dibandingkan apabila hanya melihat dari daya *output* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan hasil *output* daya yang dihasilkan pada setiap panel surya berbeda-beda. Jadi efisiensi *output* daya harus dinormalisasikan agar performa panel surya dapat dibandingkan (Persamaan (2.2)). Pada Gambar 4.4 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi kondisi cuaca cerah,

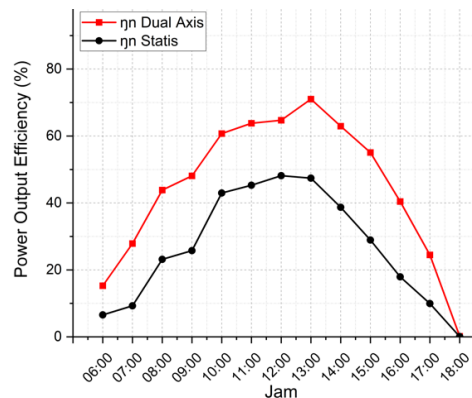
dan pada jam 14:00 efisiensi daya normalisasi tertinggi masih dihasilkan oleh panel surya dengan *solar tracking dual axis* sebesar 75,17% dan untuk panel surya statis didapati nilai lebih kecil sebesar 50,42%.

Pengambilan data kondisi cuaca cerah hari kedua dilakukan pada tanggal 6 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.2 (garis biru) meskipun pada hari kedua tidak didapati radiasi matahari yang tinggi seperti hari pertama, tetapi tetap memiliki titik puncak radiasi yang sama pada jam 13:00 sebesar 852 W/m². Pada hari kedua ini juga memiliki nilai rata-rata radiasi matahari yang lebih besar dibandingkan pada hari lainnya sebesar 509,77 W/m², jadi bisa dikatakan penyinaran radiasi matahari pada hari kedua cukup stabil pada tiap jamnya. Pada Gambar 4.5 merupakan grafik perbandingan daya hari kedua.



Gambar 4.5 Perbandingan Daya Hari Kedua 6 Desember 2023

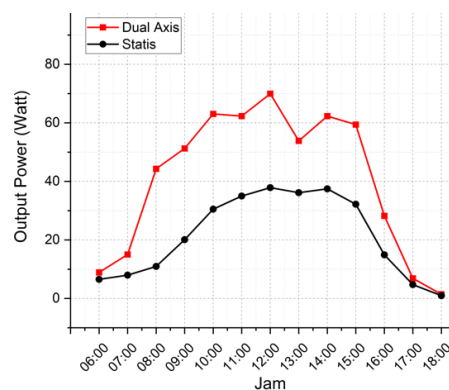
Pada Gambar 4.5 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari kedua. Berdasarkan grafik terdapat puncak daya *realtime*, untuk panel surya *solar tracking dual axis* pada jam 13:00 dengan hasil daya *realtime* sebesar 78,8 W. Sedangkan untuk panel surya statis mempunyai puncak daya *realtime* di waktu yang berbeda pada jam 12:00 dengan nilai daya 53,5 W. Hasil perhitungan daya pada hari kedua dapat dikatakan bagus dengan langit yang bersih. Adapun grafik efisiensi daya normalisasi pada hari kedua pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 6 Desember 2023

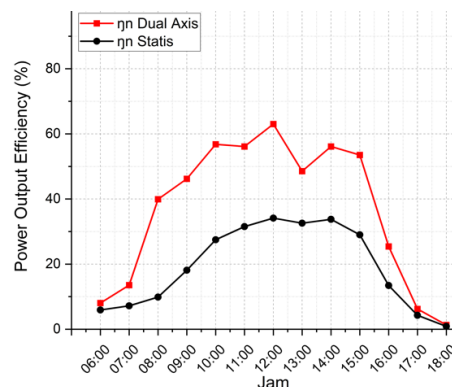
Efisiensi daya normalisasi didapatkan dari membandingkan daya *realtime* dengan daya maksimal pada panel surya. Pada Gambar 4.6 untuk puncak efisiensi daya normalisasi panel surya *solar tracking dual axis* memiliki pada jam 13:00 sebesar 71,03%. Berbeda dengan panel surya statis yang memiliki puncak efisiensi daya normalisasi di waktu yang berbeda pada jam 12:00 sebesar 48,16%.

Pengambilan data kondisi cuaca cerah hari ketiga dilakukan pada tanggal 9 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.2 (garis hitam) didapati nilai radiasi yang tinggi pada jam 12:00 sebesar 807 W/m² dan terjadi penurunan signifikan pada jam 3:00, yaitu turun menjadi 550 W/m². Tetapi memang untuk hari ketiga keadaan kondisi langit tidak biru bersih dan terdapat beberapa titik awan terlihat sehingga menjadikan nilai radiasi matahari yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan hari pertama dan hari kedua pada kondisi cuaca cerah, begitu juga dengan rata-rata radiasi matahari yang didapatkan hanya 454,62 W/m². Nilai radiasi matahari yang rendah ini sangat berpengaruh terhadap penyerapan radiasi matahari ke panel surya, sehingga dapat membuat hasil daya *realtime* pada Gambar 4.7 kurang optimal.



Gambar 4.7 Perbandingan Daya Hari Ketiga 9 Desember 2023

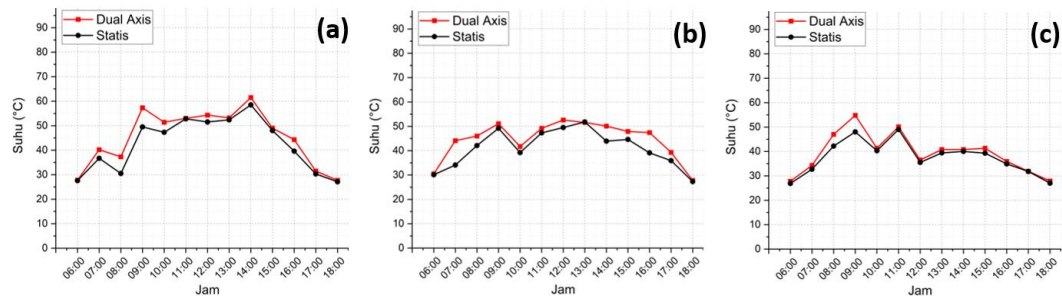
Pada Gambar 4.7 berdasarkan grafik terdapat kenaikan daya yang cukup signifikan pada *solar tracking dual axis* di jam 07:00 s.d. 08:00, yaitu dari 15 W naik menjadi 44,3 W. Berbeda dengan panel surya statis yang mengalami kenaikan daya sedikit. Adapun penurunan daya *realtime* pada interval waktu jam 12:00 s.d. 13:00, yaitu *solar tracking dual axis* dari 70 W menjadi 53,9 W, dan panel surya statis dari 37,9 W menjadi 36,1 W. Dikarenakan pada interval waktu tersebut keadaan matahari sedang tertutupi awan. Pada Gambar 4.8 terlihat efisiensi daya normalisasi pada hari ketiga yang dipengaruhi dari hasil daya yang dihasilkan.



Gambar 4.8 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 9 Desember 2023

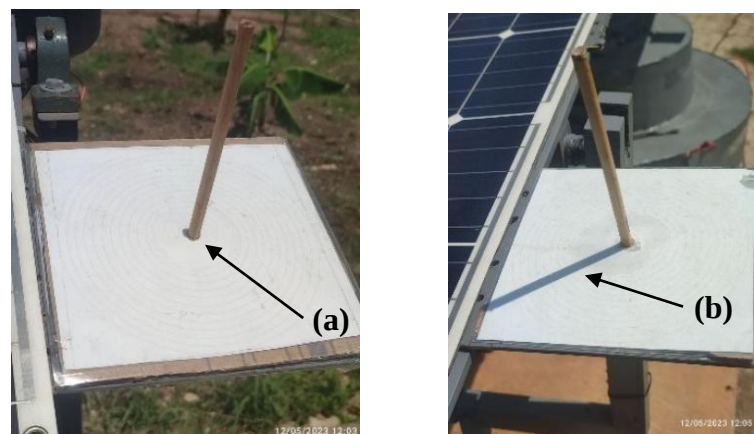
Pada Gambar 4.8 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi hari ketiga kondisi cuaca cerah. Terdapat kenaikan efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* di jam 07:00 s.d. 08:00, yaitu dari 13,53% naik menjadi 39,93%. Berbeda dengan panel surya statis yang tidak terlalu mengalami kenaikan signifikan. Tetapi terdapat penurunan efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* diinterval waktu jam 12:00 s.d. 13:00 dari 63% menjadi 48,3%, dan panel surya statis terjadi penurunan dari 34,12% menjadi 32,56%. Dikarenakan hari ketiga keadaan langit tidak biru bersih, sehingga efisiensi daya normalisasi rendah.

Dilihat pada hari pertama, kedua, dan ketiga hasil perbandingan daya dan efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* dan statis yang berbeda pada tiap harinya. Adapun faktor lain yang mempengaruhi hasil dari daya dan efisiensi tersebut, yaitu suhu, dan untuk *solar tracking dual axis* terdapat faktor *shading bar* yang berfungsi sebagai acuan terhadap arah pergerakan matahari. grafik pada suhu seperti yang terdapat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Cerah; (a) Hari Pertama 5 Desember 2023, (b) Hari Kedua 6 Desember 2023, (c) Hari Ketiga 9 Desember 2023

Pada Gambar 4.9 dapat terlihat grafik suhu panel surya *solar tracking dual axis* untuk ketiga hari lebih panas dibandingkan panel surya statis, hal ini dikarenakan panel surya *solar tracking dual axis* selalu menghadap arah matahari. Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi hasil pada panel surya. Salah satu contoh pada panel surya *solar tracking dual axis* hari pertama 5 Desember 2023 jam 09:00 dengan radiasi matahari 546 W/m^2 dan suhu $57,3^\circ\text{C}$ didapatkan hasil daya *realtime* 45,1 W, tetapi apabila dibandingkan dengan hari ketiga 9 Desember 2023 jam 14:00 dengan radiasi matahari 548 W/m^2 dan suhu permukaan panel yang lebih rendah $40,8^\circ\text{C}$ didapatkan daya *realtime* yang lebih tinggi sebesar 56,13 W. Dikarenakan suhu permukaan panel surya yang tinggi membuat perbedaan selisih daya 11 W. Selain melihat pada suhu yang dihasilkan terdapat juga faktor lain, yaitu *shading bar* yang dapat terlihat pada Gambar 4.10.

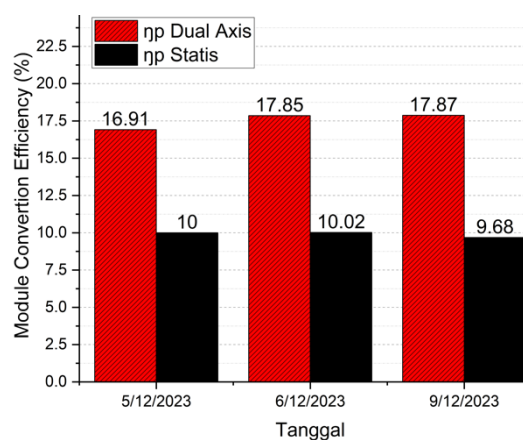


Gambar 4.10 Contoh *Shading bar* Kondisi Cerah; (a) *Solar tracking dual axis*, (b) Statis

Shading bar berfungsi sebagai acuan agar panel surya dapat menghadap searah dengan arah datangnya matahari. Pada Gambar 4.10 merupakan keadaan *shading bar* pada hari pertama tanggal 5 Desember 2023 jam 12:00. Pada setiap

jamnya matahari mempunyai perbedaan sudut sampai 15° . Terlihat pada kondisi cuaca cerah dan matahari tidak tertutupi awan didapati *shading bar* pada *solar tracking dual axis* memiliki sedikit penyimpangan sekitar 0 s.d. $1,5^\circ$ dari arah datangnya matahari, jadi disimpulkan pergerakan *solar tracking dual axis* ini bagus.

Dari faktor suhu dan *shading bar* saja sudah sangat mempengaruhi besarnya efisiensi yang dihasilkan panel surya. Efisiensi konversi pada panel surya adalah kemampuan panel surya untuk mengubah radiasi matahari menjadi daya listrik. Perbandingan efisiensi konversi antara panel surya *solar tracking dual axis* dan statis pada hari pertama, kedua dan ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



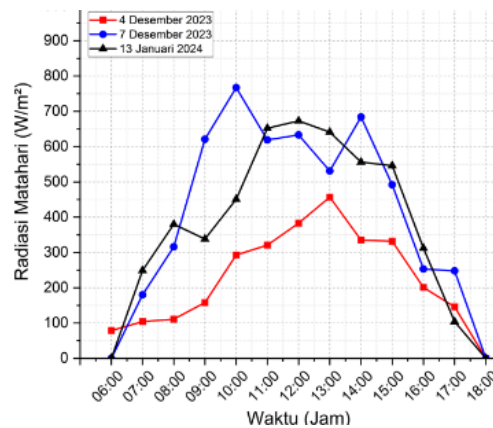
Gambar 4.11 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Cerah

Pada Gambar 4.11 merupakan hasil pengujian efisiensi konversi ketiga hari dalam kondisi cuaca cerah. Hasil efisiensi konversi tertinggi *solar tracking dual axis* terdapat pada hari ketiga 9 Desember 2023 dengan 17,87%, hal ini dikarenakan intensitas radiasi matahari tidak terlalu tinggi tetapi dapat menghasilkan daya yang cukup tinggi. Sedangkan untuk panel surya statis terdapat pada hari kedua dengan 10,02%. Dapat disimpulkan pada saat kondisi cuaca cerah dengan waktu pengambilan data selama tiga hari, *solar tracking dual axis* lebih unggul dibandingkan panel surya statis.

4.2.2. Kondisi Cuaca Berawan

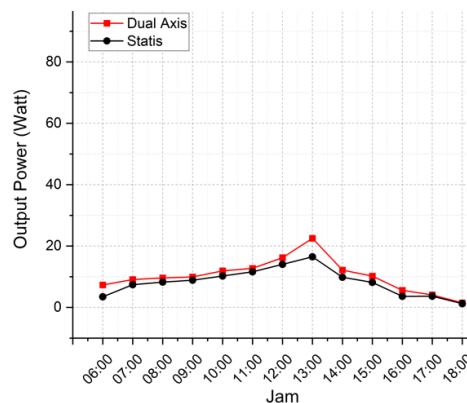
Pengujian pada kondisi berawan dilakukan untuk mengetahui hasil *solar tracking dual axis* disaat radiasi matahari tertutup awan. Tentu kondisi cuaca berawan mempengaruhi hasil performa pada panel surya, dan juga pada pergerakan *solar tracking dual axis* tersebut. Berikut merupakan hasil pengujian yang

dilakukan selama tiga hari pada kondisi cuaca berawan. Dapat terlihat pada Gambar 4.12 merupakan grafik radiasi matahari pada kondisi cuaca berawan.



Gambar 4.12 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Berawan

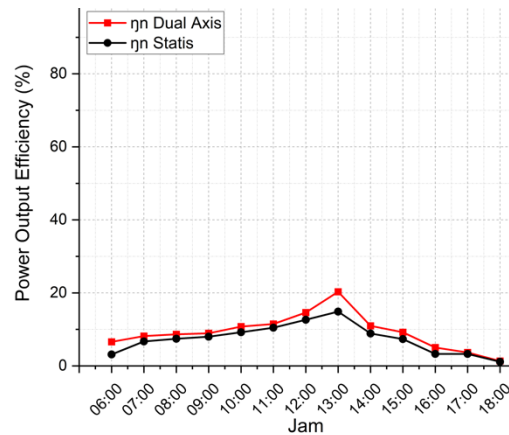
Pengambilan data kondisi cuaca berawan hari pertama pada tanggal 4 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.12 (garis merah) didapati puncak radiasi matahari pada hari pertama jam 13:00 sebesar 457 W/m², tetapi radiasi matahari pada hari pertama lebih rendah dibandingkan hari kedua dan ketiga. Dapat terlihat dari rata-rata radiasi matahari pada hari pertama sebesar 224,6 W/m², hal ini dikarenakan keadaan langit tertutupi banyak awan sehingga penyinaran radiasi matahari kurang optimal. Hasil daya yang didapatkan terlihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Perbandingan Daya Hari Pertama 4 Desember 2023

Pada Gambar 4.13 merupakan grafik hari pertama perbandingan daya *realtime* antara *solar tracking dual axis* (garis merah) dengan panel surya statis (garis hitam). Terdapat daya *realtime* puncak pada jam 13:00 dengan hasil daya *solar tracking dual axis* lebih tinggi sebesar 22,53 W, sedangkan panel surya statis didapati hasil daya yang lebih rendah sebesar 16,49 W. Hasil daya yang didapatkan

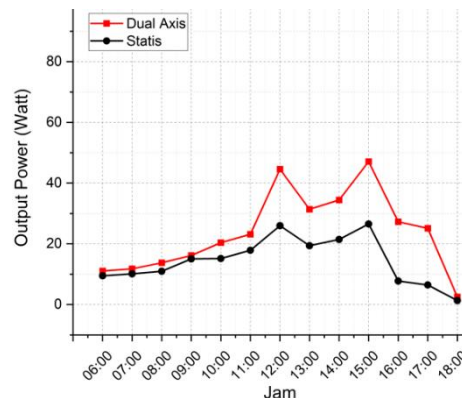
pada kondisi berawan tidak terlalu beda jauh antara keduanya, dan hasil daya ini sangat mempengaruhi nilai efisiensi daya normalisasi pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 4 Desember 2023

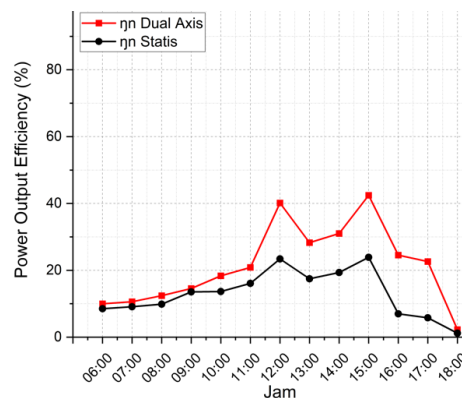
Performa pada panel surya tidak dapat dibandingkan apabila melihat dari daya *output* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan hasil *output* daya yang dihasilkan pada setiap panel surya berbeda-beda. Jadi efisiensi *output* daya harus dinormalisasikan agar performa panel surya dapat dibandingkan (Persamaan (2.2)). Pada Gambar 4.14 terdapat puncak efisiensi normalisasi pada jam 13:00, untuk panel surya *solar tracking dual axis* didapati efisiensi yang lebih tinggi sebesar 20,29%, sedangkan untuk panel surya statis memiliki efisiensi daya yang lebih rendah sebesar 14,86%. Dikarenakan rendahnya radiasi matahari pada hari pertama kondisi berawan, membuat hasil daya dan efisiensi daya normalisasi yang didapatkan menjadi sangat rendah atau dapat dibilang tidak optimal meskipun kondisi berawan.

Pengambilan data kondisi cuaca berawan hari kedua dilakukan tanggal 7 Desember 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.12 (garis biru) untuk puncak radiasi matahari pada hari kedua jam 10:00 dengan nilai 767 W/m², dan rata-rata radiasi matahari sebesar 411 W/m². Didapati nilai puncak radiasi matahari dan rata-rata radiasi matahari yang lebih tinggi, dibandingkan dengan hari pertama dan ketiga. Dapat terlihat untuk grafik hasil daya yang cukup rendah pada hari kedua ini pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Perbandingan Daya Hari Kedua 7 Desember 2023

Pada Gambar 4.15 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari kedua. Berdasarkan grafik terdapat puncak daya *realtime* jam 15:00 dengan radiasi matahari pada saat itu 492 W/m^2 . Pada puncak daya *realtime* pada panel surya *solar tracking dual axis* lebih tinggi sebesar 47,1 W, sedangkan puncak daya *realtime* panel surya statis lebih rendah di 26,5 W. Hasil perhitungan daya *realtime* pada hari kedua ini dapat dikatakan bagus karena mempunyai nilai radiasi matahari yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan hari pertama dan ketiga, meskipun pengambilan data kondisi cuaca berawan. Adapun dari hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil pada efisiensi daya normalisasi, seperti yang dapat terlihat pada grafik gambar 4.16 berikut.

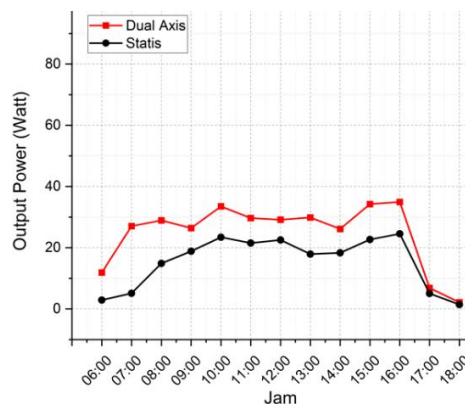


Gambar 4.16 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 7 Desember 2023

Efisiensi daya normalisasi didapatkan dari membandingkan daya *realtime* dengan daya maksimal pada panel surya. Pada Gambar 4.16 untuk puncak efisiensi daya normalisasi berada pada waktu yang sama jam 13:00. Pada puncak efisiensi daya normalisasi pada *solar tracking dual axis* lebih tinggi di 42,44%, sedangkan pada panel surya statis lebih rendah di 23,9%. Dikarenakan radiasi matahari yang

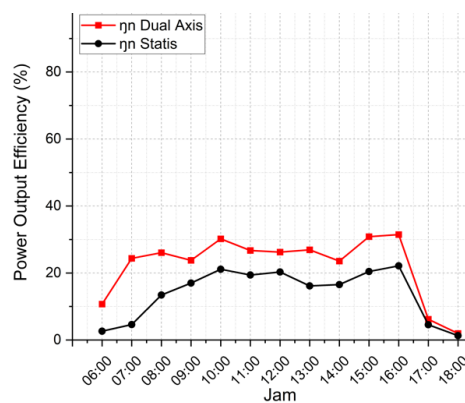
tinggi, membuat hasil daya, dan efisiensi daya normalisasi pada hari kedua kondisi cuaca berawan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan hari pertama dan ketiga.

Pengambilan data kondisi cuaca berawan hari ketiga dilakukan pada tanggal 13 Januari 2024. Terlihat pada Gambar 4.12 (garis hitam) didapati puncak radiasi matahari jam 12:00 sebesar 673 W/m^2 , dan untuk rata-rata radiasi matahari yang didapatkan sebesar 377 W/m^2 . Hasil radiasi matahari pada hari ketiga lebih tinggi apabila dibandingkan dengan radiasi matahari hari pertama. Adapun grafik perbandingan daya hari ketiga seperti yang dapat terlihat pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 4.17 Perbandingan Daya Hari Ketiga 13 Januari 2024

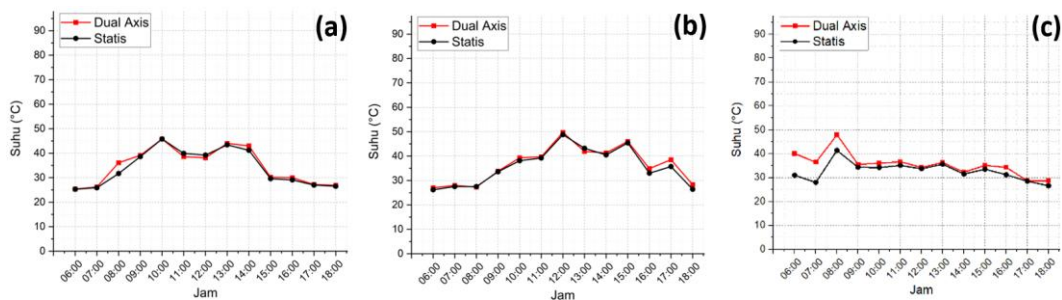
Pada Gambar 4.17 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari ketiga. Berdasarkan grafik terdapat kenaikan dan penurunan daya *realtime* yang tidak terlalu beda jauh pada interval jam 07:00 s.d. 16:00. Adapun penurunan daya *realtime* pada kedua panel surya saat interval jam 16:00 s.d. 17:00, yaitu untuk panel surya *solar tracking dual axis* dari puncak daya 34,9 W menjadi 6,9 W, serta untuk panel surya statis dari puncak daya sebesar 24,6 W turun menjadi 5 W. Hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil pada efisiensi daya normalisasi, seperti yang dapat terlihat pada grafik gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.18 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 13 Januari 2024

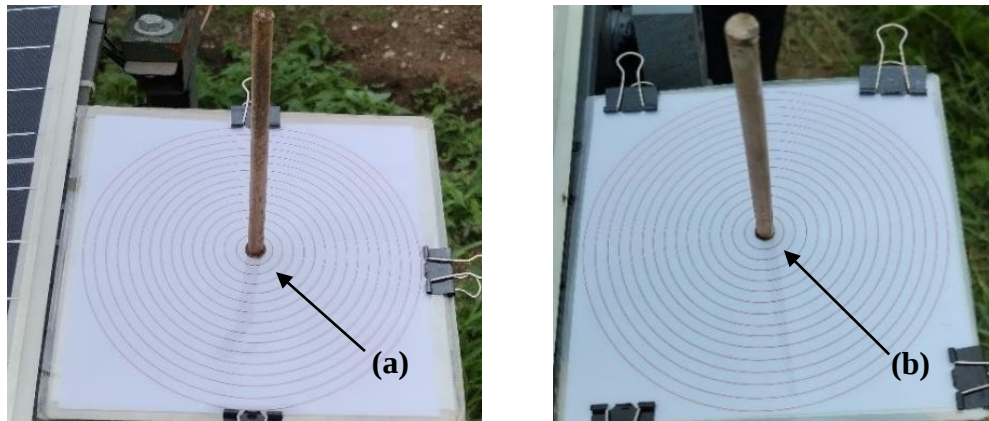
Pada Gambar 4.18 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi hari ketiga cuaca berawan. Terdapat kenaikan dan penurunan yang stabil pada interval jam 07:00 s.d. 16:00. Tetapi terdapat penurunan efisiensi daya normalisasi pada kedua panel surya saat interval jam 16:00 s.d. 17:00, yaitu untuk panel surya *solar tracking dual axis* dari puncak efisiensi sebesar 31,47% turun menjadi 6,19%, serta untuk panel surya statis dari puncak efisiensi sebesar 22,13% turun menjadi 4,54%.

Pada kondisi berawan hari pertama, kedua, dan ketiga didapati hasil perbandingan daya *realtime*, dan efisiensi daya normalisasi yang berbeda pada tiap harinya. Faktor yang dapat mempengaruhi hasil daya dan efisiensi tersebut, yaitu suhu, dan *shading bar*. Kedua faktor tersebut dapat dijelaskan sebagai grafik pada suhu seperti yang terdapat pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Berawan; (a) Hari Pertama 4 Desember 2023, (b) Hari Kedua 7 Desember 2023, (c) Hari Ketiga 13 Januari 2024

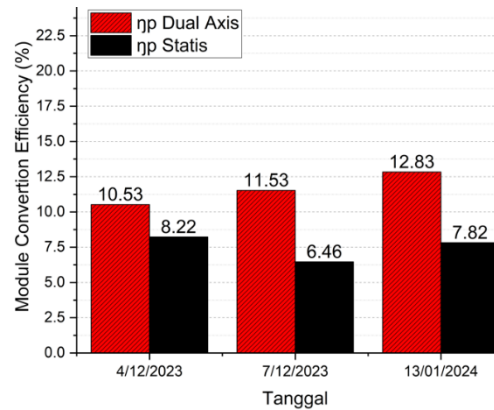
Pada Gambar 4.19 merupakan grafik suhu permukaan panel surya pada hari pertama, kedua dan ketiga kondisi cuaca berawan. Dapat terlihat pada grafik dikarenakan suhu permukaan panel surya yang rendah pada hari pertama, kedua, dan ketiga. Membuat hasil yang didapatkan tidak terlalu beda jauh antara panel surya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis. Hal ini dikarenakan pada saat kondisi cuaca hujan radiasi matahari tidak bisa menyinari bumi karna tertutupi oleh awan sehingga membuat penyerapan radiasi matahari pada panel surya berkurang, karna penyerapan pada panel surya berkurang maka suhu permukaan panel menjadi lebih rendah. Faktor lain yang mempengaruhi hasil pada panel surya, yaitu *shading bar* yang dapat terlihat pada Gambar 4.20 berikut.



Gambar 4.20 Contoh *Shading bar* Kondisi Berawan; (a) *Solar tracking dual axis*, (b) Statis

Selain faktor suhu terdapat faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil pada panel surya *solar tracking dual axis*, yaitu *shading bar*. Seperti yang dapat terlihat pada Gambar 4.20 merupakan salah satu contoh *shading bar* pada saat kondisi cuaca berawan, gambar tersebut merupakan keadaan *shading bar* pada hari ketiga tanggal 13 Januari 2024 jam 12:00. *Shading bar* tidak memiliki titik jatuh bayangan sebagai acuan pada saat kondisi cuaca berawan dan terlihat *shading bar* memiliki banyak penyimpangan pada *solar tracking dual axis* dan statis.

Pada saat kondisi cuaca berawan memang faktor suhu tidak terlalu mempengaruhi hasil efisiensi panel surya, hal ini dikarenakan suhu yang rendah pada permukaan panel surya. Tetapi saat kondisi cuaca berawan faktor yang mempengaruhi efisiensi panel surya *solar tracking dual axis* adalah *shading bar*, karena *shading bar* sebagai acuan terhadap arah datangnya radiasi matahari. Terlebih lagi saat keadaan berawan tidak memiliki banyak radiasi matahari yang dapat membuat hasil pembacaan pada *solar tracking dual axis* menjadi kurang optimal. Berikut hasil perbandingan efisiensi konversi kondisi cuaca berawan. Hasil daya yang didapatkan selama tiga hari pada kondisi cuaca berawan tersebut dapat digunakan untuk mencari hasil efisiensi konversi seperti pada Gambar 4.21 berikut.

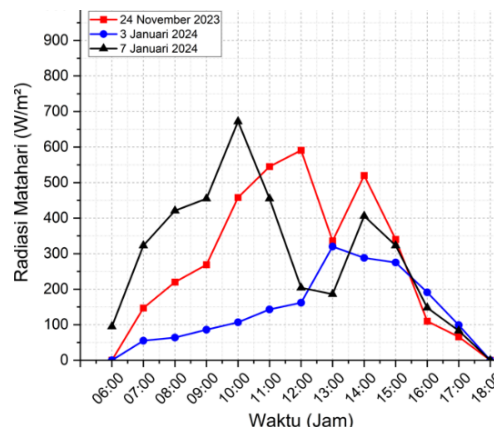


Gambar 4.21 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Berawan

Gambar 4.21 merupakan hasil pengujian efisiensi konversi ketiga hari dalam kondisi cuaca berawan. Hasil efisiensi konversi tertinggi pada panel surya *solar tracking dual axis* terdapat pada hari ketiga 13 Januari 2024 dengan 12,83%, sedangkan untuk panel surya statis terdapat pada hari pertama 4 Desember 2023 dengan 8,22%. Meskipun mempunyai hasil efisiensi konversi tertinggi pada hari yang berbeda, tetapi tetap pada saat kondisi cuaca berawan panel surya *solar tracking dual axis* lebih unggul apabila dibandingkan dengan panel surya statis.

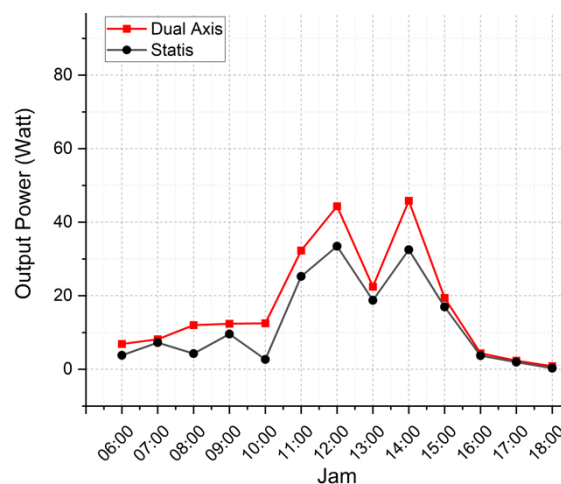
4.2.3. Kondisi Cuaca Hujan

Pengujian kondisi hujan dilakukan untuk mengetahui bagaimana pergerakan *solar tracking dual axis* disaat radiasi matahari sedikit dan tertutup banyaknya awan. Tentu pada kondisi cuaca hujan sangat mempengaruhi hasil performa panel surya, dan pergerakan *solar tracking dual axis*. Berikut hasil pengujian yang dapat dijabarkan. Dapat terlihat pada Gambar 4.22 merupakan grafik intensitas radiasi matahari selama tiga hari pada kondisi cuaca hujan.



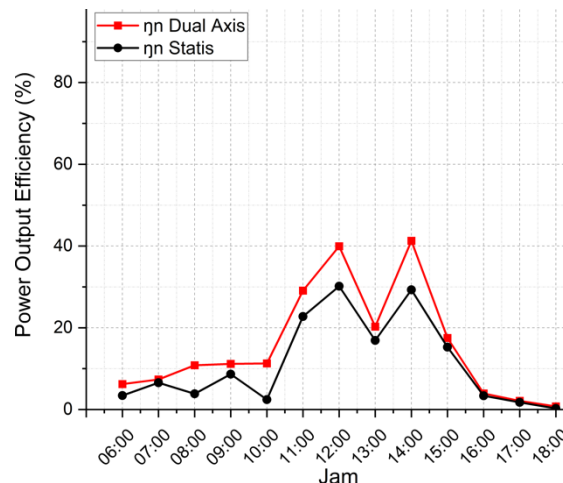
Gambar 4.22 Radiasi Matahari Kondisi Cuaca Hujan

Pengambilan data kondisi cuaca hujan hari pertama pada tanggal 24 November 2023. Dapat terlihat pada Gambar 4.22 (garis merah) didapati puncak radiasi matahari pada jam 12:00 sebesar 591 W/m², yang kemudian mengalami penurunan radiasi matahari pada jam 13:00 menjadi 336 W/m². Hasil radiasi matahari didapatkan pada kondisi cuaca hujan sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan pada panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis. Hasil perbandingan daya tersebut dapat terlihat pada Gambar 4.23 berikut.



Gambar 4.23 Perbandingan Daya Hari Pertama 24 November 2023

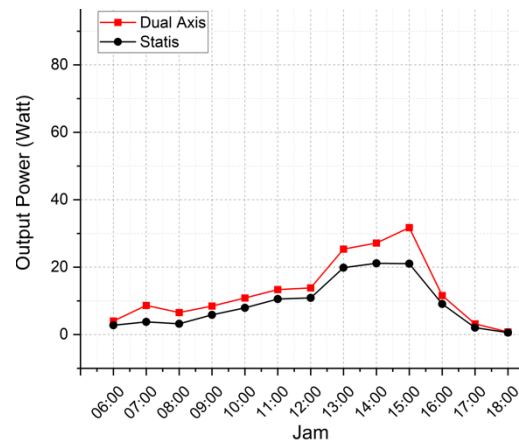
Daya *realtime* yang didapatkan dari hasil perhitungan data tegangan dan arus (Persamaan (2.1)). Pada Gambar 4.23 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* hari pertama antara panel surya *solar tracking dual axis* (garis merah) dengan panel surya statis (garis hitam). Terdapat beberapa persamaan antara kenaikan dan penurunan pada kedua panel tersebut. Puncak daya *realtime* pada jam 12:00 saat radiasi matahari sebesar 591 W/m² dengan panel surya *solar tracking dual axis* didapati hasil daya yang lebih tinggi sebesar 44,3 W, sedangkan panel surya statis didapati hasil daya yang lebih rendah sebesar 33,48 W. Hasil daya yang didapatkan pada hari pertama kondisi cuaca hujan cukup fluktuatif karena cuaca yang berubah-ubah. Hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil efisiensi daya normalisasi, seperti yang terlihat pada grafik gambar 4.24 berikut.



Gambar 4.24 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Pertama 24 November 2023

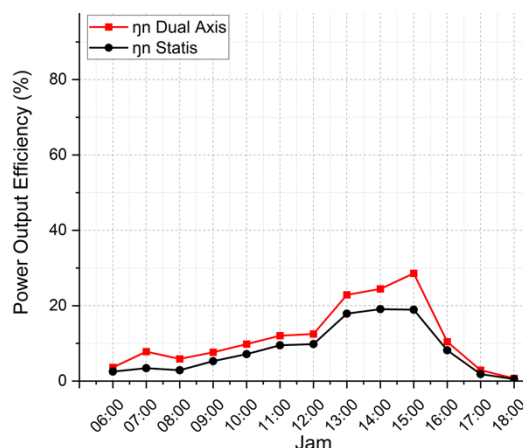
Performa panel surya tidak dapat dibandingkan apabila melihat dari daya *output* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan hasil *output* daya yang dihasilkan pada setiap panel surya berbeda-beda. Performa panel surya dapat dibandingkan apabila efisiensi *output* daya sudah dinormalisasikan (Persamaan (2.2)). Pada Gambar 4.24 terdapat puncak efisiensi normalisasi jam 12:00 dengan efisiensi panel surya *solar tracking dual axis* yang lebih tinggi sebesar 39,9%, dan untuk efisiensi panel surya statis lebih rendah sebesar 29,94%. Efisiensi yang didapatkan terbilang cukup tinggi meskipun kondisi pada saat pengambilan data cuacanya hujan, hal ini dikarenakan terjadi cerah pada jam-jam tertentu seperti jam 12:00 dan jam 14:00.

Pengambilan data kondisi cuaca hujan hari kedua dilakukan tanggal 3 Januari 2024. Dapat terlihat pada Gambar 4.22 (garis biru) puncak radiasi matahari terdapat pada jam 13:00 sebesar 320 W/m², dan rata-rata radiasi matahari sebesar 137,7 W/m². Didapati nilai radiasi matahari terendah apabila dibandingkan hari lainnya, hal ini dikarenakan kondisi cuaca yang hujan dan sangat berawan. Radiasi matahari yang rendah ini sangat mempengaruhi performa pada panel surya. Hasil radiasi matahari didapatkan pada kondisi cuaca hujan sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan pada panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis. Hasil perbandingan daya tersebut dapat terlihat pada Gambar 4.25 berikut.



Gambar 4.25 Perbandingan Daya Hari Kedua 3 Januari 2024

Pada Gambar 4.25 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* pada hari kedua. Berdasarkan grafik terdapat puncak daya *realtime* yang berbeda, pada panel surya *solar tracking dual axis* jam 15:00 sebesar 31,7 W dengan radiasi matahari pada saat itu 275 W/m². Sedangkan pada panel surya statis jam 14:00 sebesar 21,2 W dengan radiasi matahari pada jam tersebut 288 W/m². Hasil perhitungan daya *realtime* pada hari kedua ini dapat dikatakan sangat rendah, hal ini dikarenakan nilai radiasi matahari yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan hari lainnya. Hasil daya yang telah didapatkan dapat diketahui untuk hasil pada efisiensi daya normalisasi, seperti yang dapat terlihat pada grafik gambar 4.26 berikut.

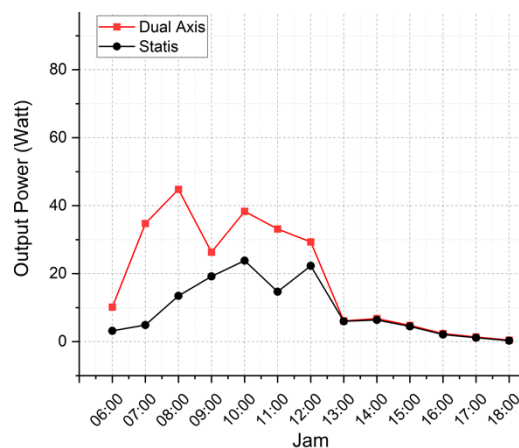


Gambar 4.26 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Kedua 3 Januari 2024

Pada Gambar 4.26 berdasarkan grafik terdapat puncak efisiensi daya normalisasi yang berbeda, pada panel surya *solar tracking dual axis* mempunyai efisiensi yang lebih tinggi jam 15:00 sebesar 28,59%, sedangkan pada panel surya statis mempunyai efisiensi yang lebih rendah jam 14:00 sebesar 19,07%.

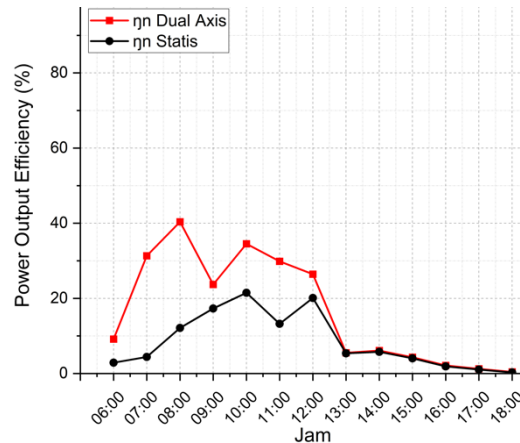
Dikarenakan radiasi matahari yang rendah membuat efisiensi daya normalisasi pada hari kedua kondisi cuaca hujan lebih rendah dari pada hari pertama, dan hari ketiga.

Pengambilan data kondisi cuaca hujan hari ketiga dilakukan pada tanggal 7 Januari 2024. Pada Gambar 4.22 (garis hitam) didapati puncak radiasi matahari jam 10:00 sebesar 672 W/m², dan rata-rata radiasi matahari sebesar 290 W/m². Hasil radiasi matahari pada hari ketiga cukup fluktuatif karena terjadi penurunan jam 11:00 s.d. 13:00, lalu mengalami kenaikan lagi pada jam 14:00. Didapatkannya intensitas radiasi matahari tersebut akan sangat mempengaruhi pada daya yang dihasilkan panel surya, dapat terlihat pada Gambar 2.27 berikut.



Gambar 4.27 Perbandingan Daya Hari Ketiga 7 Januari 2024

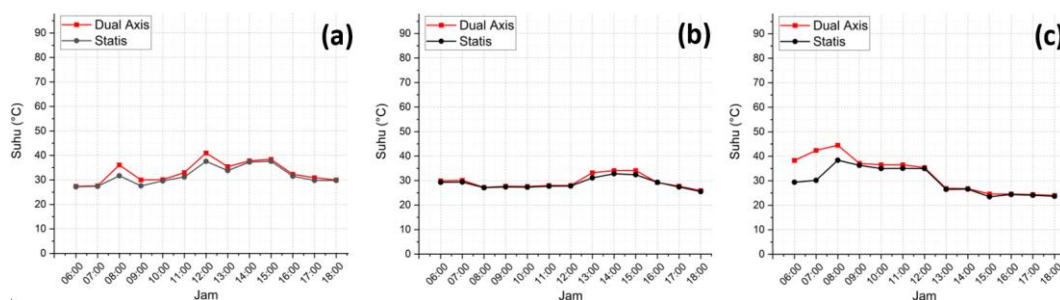
Pada Gambar 4.27 merupakan grafik perbandingan daya *realtime* hari ketiga. Berdasarkan grafik terdapat penurunan daya *realtime* pada panel surya *solar tracking dual axis* diinterval jam 08:00 s.d. 09:00 dengan daya awal 44,8 W turun menjadi 26,3 W. Tetapi berbeda dengan panel surya statis yang mengalami kenaikan dari daya awal 13,5 W naik menjadi 19,2 W. Hal ini dapat terjadi karena saat kondisi cuaca hujan permukaan panel surya *solar tracking dual axis* tidak menghadap pada arah yang memiliki radiasi matahari yang tinggi, sehingga membuat hasil daya *realtime* yang didapatkan menjadi turun, dan bukan naik seperti panel surya statis. Adapun dari didapatkannya hasil daya panel surya, dapat diperoleh juga untuk hasil efisiensi daya normalisasi. Grafik hasil efisiensi normalisasi dapat terlihat pada Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.28 Efisiensi Daya Normalisasi Hari Ketiga 7 Januari 2024

Pada Gambar 4.28 merupakan grafik efisiensi daya normalisasi hari ketiga cuaca hujan. Hasil grafik cukup fluktuatif pada interval jam 06:00 s.d. 12:00. Pada interval jam 13:00 s.d. 18:00 didapati hasil efisiensi daya normalisasi yang tidak terlalu berbeda jauh diantara panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis, hal ini dikarenakan pengambilan data terjadi hujan yang cukup lama sehingga hasil daya yang didapatkan tidak optimal antara kedua panel tersebut.

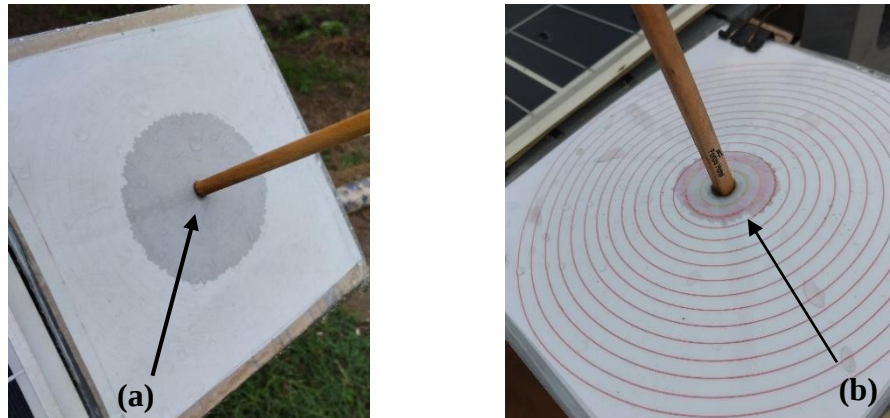
Pada kondisi hujan hari pertama, kedua, dan ketiga didapati hasil perbandingan daya *realtime*, dan efisiensi daya normalisasi yang berbeda pada tiap harinya. Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil daya dan efisiensi tersebut, yaitu suhu, dan *shading bar*. Kedua faktor yang dapat mempengaruhi hasil pada panel surya tersebut dapat dijelaskan sebagai grafik pada suhu seperti yang terdapat pada Gambar 4.29 berikut.



Gambar 4.29 Suhu Permukaan Panel Surya Cuaca Hujan; (a) Hari Pertama 24 November 2023, (b) Hari Kedua 3 Januari 2024, (c) Hari Ketiga 7 Januari 2024

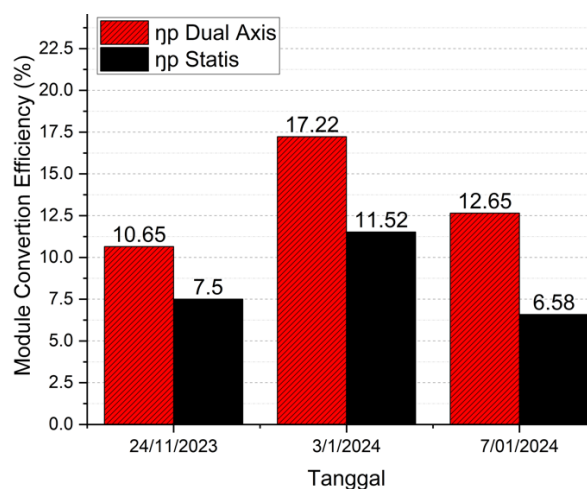
Pada Gambar 4.29 merupakan grafik suhu permukaan panel surya pada hari pertama, kedua dan ketiga kondisi cuaca hujan. Dapat terlihat pada grafik karena suhu permukaan panel surya yang rendah pada hari pertama, kedua, dan ketiga.

Membuat hasil yang dihasilkan tidak terlalu beda jauh antara panel surya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis. Hal ini dikarenakan saat kondisi cuaca hujan radiasi matahari tidak bisa menyinari bumi karna tertutupi oleh awan sehingga penyerapan radiasi matahari pada panel surya berkurang, karna penyerapan panel surya berkurang, maka suhu permukaan panel menjadi lebih rendah. Pada Gambar 2.30 dapat terlihat contoh *shading bar* kondisi cuaca hujan.



Gambar 4.30 Contoh *Shading bar* Kondisi Hujan; (a) *Solar tracking dual axis*, (b) Statis

Pada Gambar 4.30 merupakan satu contoh *shading bar* kondisi cuaca hujan pada hari ketiga tanggal 7 Januari 2024 jam 15:00. *Shading bar* tidak memiliki titik jatuh bayangan sebagai acuan saat kondisi cuaca hujan dan didapati *shading bar* memiliki banyak penyimpangan pada panel surya *solar tracking dual axis* dan panel surya statis. Dikarenakan besarnya penyimpangan pada saat kondisi cuaca hujan membuat hasil pada panel surya menjadi tidak optimal. Adapun grafik efisiensi konversi panel surya ketiga harinya pada Gambar 4.31 berikut ini.



Gambar 4.31 Efisiensi Konversi Keadaan Cuaca Hujan

Gambar 4.31 merupakan hasil pengujian efisiensi konversi ketiga hari dalam kondisi cuaca hujan. Puncak efisiensi konversi terdapat pada hari kedua 3 Januari 2024, untuk efisiensi konversi panel surya *solar tracking dual axis* sebesar 17,22%, sedangkan panel surya statis sebesar 11,52%. Hal ini dikarenakan meskipun mempunyai nilai radiasi matahari yang cukup tinggi.

Adapun puncak rata-rata efisiensi konversi pada tiap kondisi cuaca. Puncak efisiensi konversi terdapat pada hari yang berbeda di tiga kondisi cuacanya. Dapat terlihat pada Tabel 4.1 untuk detail hasil sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Rata-Rata Efisiensi Konversi Tertinggi

Kondisi Cuaca	Hari, Tanggal	η_p Dual Axis (%)	Hari, Tanggal	η_p Statis (%)
Cerah	Hari ketiga, 9 Desember 2023	17,87	Hari kedua, 6 Desember 2023	10,02
Berawan	Hari ketiga, 13 Januari 2024	12,83	Hari pertama, 4 Desember 2023	10,53
Hujan	Hari kedua, 3 Januari 2024	17,22	Hari kedua, 3 Januari 2024	11,52

Dapat terlihat pada Tabel 4.1 untuk data hasil puncak rata-rata efisiensi konversi yang didapatkan. Pada ketiga kondisi cuaca dengan hari yang berbeda antara puncak efisiensi konversi panel surya *solar tracking dual axis*, dan panel surya statis. Tentu panel surya *solar tracking dual axis* lebih optimal apabila dibandingkan dengan panel surya statis. Meskipun pada saat pengambilan data kondisi cuaca yang kurang baik seperti kondisi cuaca berawan, dan hujan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan, yaitu:

1. Pengaruh perbandingan daya yang dihasilkan *solar tracking dual axis* dan panel surya statis terhadap penyerapan radiasi matahari terlihat pada puncak intensitas radiasi matahari 899 W/m² daya yang dihasilkan *solar tracking dual axis* 79,2 W dan daya panel surya statis 54,2 W.
2. Efisiensi konversi yang dihasilkan *solar tracking dual axis* pada tiga kondisi cuaca lebih optimal. Puncak rata-rata efisiensi konversi pada *solar tracking dual axis* lebih unggul sekitar 12,83% s.d. 17,87%, dibandingkan panel surya statis yang efisiensi konversinya sekitar 10% s.d. 11,52%. (Tabel 4.1)
3. Pengaruh *shading bar* terhadap hasil perbandingan daya panel surya terlihat pada cuaca cerah dengan penyimpangan sudut *shading bar solar tracking dual axis* sekitar 0° s.d. 1,5° didapati daya rata-rata 43,23 W, sedangkan panel surya statis mencapai 3,5° s.d. >15° didapati daya rata-rata 26,8 W.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran diberikan kepada peneliti yang melanjutkan penelitian serupa ke depannya, yaitu sebagai berikut:

1. Pengembangan lebih lanjut dalam pembuatan kendali dengan menggunakan *gearbox* pada motor *stepper* sebagai pembanding apabila menggunakan panel surya dengan daya yang lebih besar dan lebih berat.
2. Pengembangan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan sistem *close loop*, untuk mengetahui beban yang digunakan dan dihasilkan secara penuh pada panel surya dengan panel surya *solar tracking dual axis*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indrasari W., R. Fahdiran, E. Budi, L. Jannah, L. V. Kadarwati, and Ramli, “Active Solar Tracker Based on the Horizon Coordinate System,” in *International Conference on Theoretical and Applied Physics*, Institute of Physics Publishing, Dec. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1088/1742-6596/1120/1/012102.
- [2] Siagian P., “Uji Kinerja Panel Surya 120 Wp dengan Solar Tracker Double Axis di Daerah Kota Medan,” *SPROCKET Journal of Mechanical Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 115–128, 2022.
- [3] Hidayati Q., N. Yanti, N. Jamal, P. Negeri Balikpapan, and J. Soekarno Hatta km, “SISTEM PEMBANGKIT PANEL SURYA DENGAN SOLAR TRACKER DUAL AXIS DUAL AXIS,” in *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 2020, pp. 68–73.
- [4] Rani P., O. Singh, and S. Pandey, “An Analysis on Arduino based Single Axis Solar Tracker,” in *Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, 2018, pp. 1–5.
- [5] Sungur C., “Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey,” *Renew Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 1119–1125, Apr. 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.06.020.
- [6] Situngkir H., M. Fadlan Siregar, and M. Fadlan Siregar, “Panel Surya Berjalan dengan Mengikuti Gerak Laju Matahari,” *Journal of Electrical Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 128–131, 2018.
- [7] Ramful R. and N. Sowaruth, “Low-cost solar tracker to maximize the capture of solar energy in tropical countries,” in *The 5th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering(REEE 2022)*, Elsevier Ltd, Nov. 2022, pp. 295–302. doi: 10.1016/j.egy.2022.10.145.

- [8] Zuhail E. and S. Marangozoglu, "New Design for Solar Panel Tracking System Based on Solar Calculations," *International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, vol. 1, no. 978, pp. 1042–1046, 2019.
- [9] Mustafa F. I., "Direct and Indirect Sensing two-axis Solar Tracking System," in *International Renewable Energy Congress (I REC 2017)*, 2017, pp. 1–4.
- [10] Mustafa F. I., S. Shakir, F. F. Mustafa, and A. Thamer Naiyf, "Simple Design and Implementation of Solar tracking System Two Axis with Four Sensors for Baghdad city," in *International Renewable Energy Congress (IREC 2018)*, 2018, pp. 1–5.
- [11] Putri N. U., F. Santoso, and F. Trisnawati, "Rancang Bangun Solar Tracking System Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 2, pp. 161–167, 2022.
- [12] Abdollahpour M., M. R. Golzarian, A. Rohani, and H. Abootorabi Zarchi, "Development of a machine vision dual-axis solar tracking system," *Solar Energy*, vol. 169, no. 1, pp. 136–143, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.03.059.
- [13] Alam M., S. Miah, A. Dewan, A. Ghosh, and S. S. Bashar, "A Microcontroller Based Dual Axis Tracking System for Solar Panel," in *The International Conference on Electrical, Computer & Telecommunication Engineering*, 2019, pp. 25–28.
- [14] Sianturi Y. and C. 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.
- [15] Lillo-Bravo I., M. Larrañeta, E. Núñez-Ortega, and R. González-Galván, "Simplified model to correct thermopile *pyranometer* solar radiation measurements for photovoltaic module yield estimation," *Renew Energy*, vol. 146, no. 1, pp. 1486–1497, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.07.070.
- [16] Azouzoute A., A. A. Merrouni, E. G. Bennouna, and A. Gennioui, "Accuracy measurement of *pyranometer* vs reference cell for PV resource

- assessment,” *Energy Procedia*, vol. 157, no. 1, pp. 1202–1209, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.286.
- [17] Jamaaliddin, *BUKU PETUNJUK PENGOPERASIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)*, vol. 1. 2021.
- [18] Safitri N., T. Rihayat, and S. Riskina, *TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC*, vol. 1. 2019.
- [19] Wibowo A., *Instalasi Panel Listrik Surya*, vol. 1. 2022.
- [20] Rifan M., Sholeh, M. Sidiq, R. Yuwono, H. Suyono, and F. Susanti, “Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,” *Jurnal EECCIS*, vol. 6, no. 1, pp. 44–48, 2012.
- [21] Tyagi V. V., N. A. A. Rahim, N. A. Rahim, and J. A. L. Selvaraj, “Progress in solar PV technology: Research and achievement,” 2013, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2012.09.028.
- [22] Solanki C. S., *Solar photovoltaic technology and systems : a manual for technicians, trainers and engineers*. 2013.
- [23] Suyanto M., S. Priyambodo, Prasetyono, and P. A. Ari, “Optimalisasi Pengisian Accu Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Solar Charge Controller (MPPT),” *J Teknol*, vol. 15, no. 1, pp. 22–29, 2022.
- [24] Witono K., 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 di bawah Kondisi Cuaca Kota Malang).” [Online]. Available: <https://www.attractivejournal.com/index.php/bse/index>
- [25] Usman K. M., “ANALISIS INTENSITAS CAHAYA TERHADAP ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN PANEL SURYA,” *Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik*, vol. 9, no. 2, pp. 52–58, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/powerelektro>

- [26] Sujana, Kumara, and Giriantari, "PENGARUH KEBERSIHAN MODUL SURYA TERHADAP UNJUK KERJA PLTS," *E-Journal SPEKTRUM*, vol. 2, no. 3, pp. 49–54, 2015.
- [27] Kaban S., M. Jafri, and Gusnawati, "OPTIMALISASI PENERIMAAN INTENSITAS CAHAYA MATAHARI PADA PERMUKAAN PANEL SURYA (SOLAR CELL) MENGGUNAKAN CERMIN," *Jurnal Fisika*, vol. 5, no. 2, pp. 108–117, 2020.
- [28] Yani. S, "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.
- [29] SUHENDAR, *LISTRIK TENAGA SURYA*, vol. 1. 2022.
- [30] Tiyas K. P., and M. Widyartono, "Pengaruh Efek Suhu Terhadap Kinerja Panel Surya," *Jurnal Mahasiswa Universitas Negeri Surabaya*, vol. 9, no. 1, pp. 871–876, 2020.
- [31] Aprillia S. B., R. M. Zulfahmi, and A. 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>
- [32] Ramadhani B., *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*, vol. 1. 2018.
- [33] Nugroho M. F., D. Riyanto, and G. Nanang Syaifuddin, "Analysis of the Effectiveness of Solar Cell Voltage Based on the Angle of Exposure to Sunlight," *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 6, no. 2, pp. 120–132, Oct. 2022, doi: 10.21070/jeeeu.v6i2.1559.
- [34] Mohamed T., E. Mohamed, A. Abdolsalam, and T. Amna, "Control of Single-Axis and Dual-Axis Solar Tracking System," in *Proceedings of: 2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering, ICCCEE 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2021. doi: 10.1109/ICCCEE49695.2021.9429585.

- [35] Marc M., *Introduction to Stepper Motors Part 1: Types of Stepper Motors*, vol. 1. 2007.
- [36] Wardhana A. W. 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, p. 80, Mar. 2018, doi: 10.25077/jnte.v7n1.530.2018.
- [37] Wibowo B. C. 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.
- [38] Santoso H., *Paduan Praktis Arduino untuk Pemula*, vol. 1. 2015. [Online]. Available: www.elangsakti.com
- [39] Basri I. Y. and D. Irfan, *KOMPONEN ELEKTRONIKA*, vol. 1. 2018.
- [40] Aulia S. J. and D. Prabowo, "PERANCANGAN PERALATAN UNTUK PENGUKURAN RADIASI GELOMBANG PENDEK MATAHARI," *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, vol. 3, no. 3, 2016.
- [41] Oyelami S., N. A. Azeez, S. A. Adedigba, O. J. Akinola, and R. M. Ajayi, "A Pyranometer for Solar Radiation Measurement-Review," *Adeleke University Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 61–68, 2020, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/349210517>
- [42] Kipp and Zonen, *CMP series • Pyranometer CMA series • Albedometer Instruction Manual*, vol. 1. 2016. [Online]. Available: www.kippzonen.com
- [43] Kuik F., *Instruction Manual*, vol. 1. 2016. [Online]. Available: www.kippzonen.com
- [44] Sasmoko D., *Arduino dan Sensor*, vol. 1. 2021.
- [45] Rahmat A., *RANGKAIAN DAN PROGRAM BOARD ARDUINO UNTUK PEMULA*, vol. 1. 2021.
- [46] Imaduddin I. R., D. A. Fahreza, L. Hakim, and F. R. Maulana, "ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIDRO VORTEX (PLTHV) DI DESA SAWAH KEMBANG," *ELEMEN: JURNAL*

TEKNIK MESIN, vol. 9, no. 2, pp. 110–118, Dec. 2022, doi: 10.34128/je.v9i2.207.

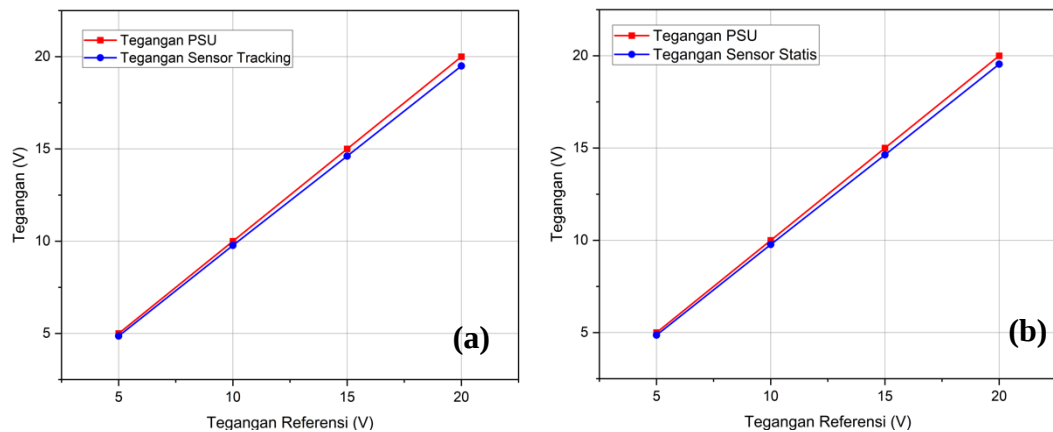
- [47] Paramudita I. *et al.*, “The Effect of Measurement Distances and Infrared Thermometer Types for Body Temperature Measurement as Early Screening of COVID-19,” *Jurnal Standardisasi*, vol. 23, no. 2, pp. 133–140, 2021.
- [48] Hammoumi A. E, S. Chtita, S. Motahhir, and A. El Ghzizal, “Solar PV energy: From material to use, and the most commonly used techniques to maximize the power *output* of PV systems: A focus on solar trackers and floating solar panels,” Nov. 01, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.egy.2022.09.054.
- [49] Prasetyo E. E., G. Marausna, and D. W. Nugroho, “Optimalisasi Pembangkitan Daya Panel Surya 200 WP Menggunakan Solar Tracker System Dual Axis,” *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* |, vol. 11, no. 3, pp. 215–221, 2022.

LAMPIRAN A PENGUJIAN SENSOR

Sebelum dilakukannya pengambilan data pada penelitian, dilakukan pengujian sensor dengan beberapa nilai sebagai berikut.

1. Sensor Tegangan

Pengujian tingkat akurasi sensor tegangan dilakukan dengan menggunakan *Power Supply Unit* (PSU) sebagai sumber tegangannya. Pada pengujian ini menggunakan 4 nilai sumber tegangan yang berbeda, diantaranya 5 Volt, 10 Volt, 15 Volt, serta 20 Volt. Oleh karena itu pada pengambilan data menggunakan 2 buah sensor untuk mengukur tegangan pada panel surya *solar tracking dual axis* dan statis, maka pengujian dilakukan pada kedua sensor tersebut.



Gambar A.1 Uji Sensor Tegangan; (a) Sensor Tegangan Panel *Solar tracking dual axis*,
(b) Sensor Tegangan Statis

Tabel A.1 Pengujian Sensor Tegangan *Solar tracking dual axis*

No	Tegangan PSU (V)	Tegangan Sensor (V)	Nilai Error (%)
1	5	4,87	2,6
2	10	9,78	2,2
3	15	14,64	2,4
4	20	19,56	2,2

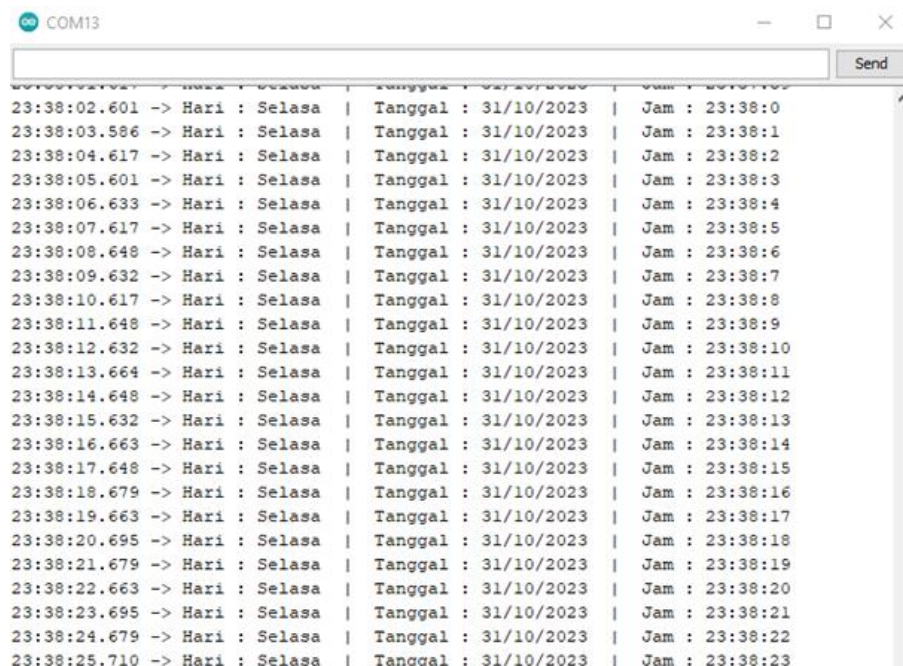
Tabel A.2 Pengujian Sensor Tegangan Statis

No	Tegangan PSU (V)	Tegangan Sensor (V)	Nilai Error (%)
1	5	4,87	2,6
2	10	9,78	2,2
3	15	14,62	2,53
4	20	19,51	2,45

Pada Gambar A.1a merupakan grafik hasil pengujian sensor tegangan panel surya *solar tracking dual axis* yang didapati nilai persentase error terendah sebesar 2,3% pada tegangan 10 volt, dan tertinggi sebesar 2,8% pada tegangan 5 volt. Pada Gambar A.1b merupakan grafik hasil pengujian sensor tegangan panel surya statis dengan nilai persentase error terendah sebesar 2,25% pada tegangan 20 volt, dan tertinggi sebesar 2,8% pada tegangan 5 volt.

2. Sensor RTC-DS3231

Sensor RTC-DS3231 memiliki fungsi sebagai pembacaan terhadap waktu. Pengujian tingkat akurasi dilakukan dengan membandingkan waktu pada *device* laptop dengan RTC-DS3231 ini dalam waktu 24 detik. Dari pengujian yang dilakukan tersebut diketahui seberapa bagus tingkat akurasi RTC-DS3231.



Timestamp	Hari	Tanggal	Jam
23:38:02.601	Selasa	31/10/2023	23:38:0
23:38:03.586	Selasa	31/10/2023	23:38:1
23:38:04.617	Selasa	31/10/2023	23:38:2
23:38:05.601	Selasa	31/10/2023	23:38:3
23:38:06.633	Selasa	31/10/2023	23:38:4
23:38:07.617	Selasa	31/10/2023	23:38:5
23:38:08.648	Selasa	31/10/2023	23:38:6
23:38:09.632	Selasa	31/10/2023	23:38:7
23:38:10.617	Selasa	31/10/2023	23:38:8
23:38:11.648	Selasa	31/10/2023	23:38:9
23:38:12.632	Selasa	31/10/2023	23:38:10
23:38:13.664	Selasa	31/10/2023	23:38:11
23:38:14.648	Selasa	31/10/2023	23:38:12
23:38:15.632	Selasa	31/10/2023	23:38:13
23:38:16.663	Selasa	31/10/2023	23:38:14
23:38:17.648	Selasa	31/10/2023	23:38:15
23:38:18.679	Selasa	31/10/2023	23:38:16
23:38:19.663	Selasa	31/10/2023	23:38:17
23:38:20.695	Selasa	31/10/2023	23:38:18
23:38:21.679	Selasa	31/10/2023	23:38:19
23:38:22.663	Selasa	31/10/2023	23:38:20
23:38:23.695	Selasa	31/10/2023	23:38:21
23:38:24.679	Selasa	31/10/2023	23:38:22
23:38:25.710	Selasa	31/10/2023	23:38:23

Gambar A.2 Uji Sensor RTC-DS3231

Pada Gambar A.2 merupakan hasil pengujian sensor RTC-DS3231 dengan pembacaan *real time* interval waktu 1 detik yang menghasilkan 3 variabel pembacaan data, yakni tanggal, hari, dan jam. Pada variabel tanggal, dan hari sesuai dengan waktu dilakukannya pengujian sensor pada tanggal 31 oktober 2023 di hari selasa. Untuk variabel jam mempunyai sedikit perbedaan selisih waktu 2 detik, jika dibandingkan dengan *timestamp* pada *software* Arduino IDE.

3. Micro SD Card Adaptor

Pengujian tingkat akurasi pada *Micro SD Card* adaptor sebagai penyimpanan. Dilakukan dengan percobaan menyimpan data waktu pada sensor RTC-DS3231. Data tegangan pada sensor tegangan, dan arus pada sensor ACS712.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Hari	Tanggal	Jam	LDR 1	LDR 2	LDR 3	LDR 4	Sudut Altitude Alat	Sudut Azimuth Alat	Arus Beban 1	Arus Beban 2	Tegangan Beban 1	Tegangan Beban 2
27	Wednesday	29/11/2023	19:26:26	118	193	177	194	-25.12	108.52	0.15	0.15	0.04	0.04
28	Wednesday	29/11/2023	19:26:27	301	447	401	376	-25.68	110.58	0.15	0.15	0.04	0.07
29	Wednesday	29/11/2023	19:26:29	116	199	187	213	-24.09	110.19	0.15	0.15	0.07	0.02
30	Wednesday	29/11/2023	19:26:30	202	299	269	266	-25.44	109.88	0	0.15	0.07	0.04
31	Wednesday	29/11/2023	19:26:32	272	409	366	349	-23.96	110.57	0	0.15	0.04	0.04
32	Wednesday	29/11/2023	19:26:33	115	186	172	192	-23.09	110.8	0.15	0.15	0.04	0.04
33	Wednesday	29/11/2023	19:26:35	321	479	425	391	-23.12	108.96	0	0.15	0.04	0.04
34	Wednesday	29/11/2023	19:26:36	155	254	235	253	-23.79	109.23	0	-0.15	0.02	0.02
35	Wednesday	29/11/2023	19:26:38	150	233	214	224	-24.82	110.73	0.15	0	0.04	0.07

Serial Monitor Data:

Row 1:

```
Hari : Wednesday
Tanggal : 29/11/2023
Jam : 19:26:33
LDR1: 115
LDR2: 186
LDR3: 172
LDR4: 192
Step Motor Altitude = 15
Step Motor Azimuth = 4
Sudut Altitude Alat = -23.09 Derajat
Sudut Azimuth Alat = 110.80 Derajat
Arus Beban 1 : 0.15 A
Arus Beban 2 : 0.15 A
Tegangan Beban 1 : 0.04 V
Tegangan Beban 2 : 0.04 V
```

Row 2:

```
Hari : Wednesday
Tanggal : 29/11/2023
Jam : 19:26:35
LDR1: 321
LDR2: 479
LDR3: 425
LDR4: 391
Step Motor Altitude = 15
Step Motor Azimuth = 0
Sudut Altitude Alat = -23.12 Derajat
Sudut Azimuth Alat = 108.96 Derajat
Arus Beban 1 : 0.00 A
Arus Beban 2 : 0.15 A
Tegangan Beban 1 : 0.04 V
Tegangan Beban 2 : 0.04 V
```

Row 3:

```
Hari : Wednesday
Tanggal : 29/11/2023
Jam : 19:26:36
LDR1: 155
LDR2: 254
LDR3: 235
LDR4: 253
Step Motor Altitude = 14
Step Motor Azimuth = 1
Sudut Altitude Alat = -23.79 Derajat
Sudut Azimuth Alat = 109.23 Derajat
Arus Beban 1 : 0.00 A
Arus Beban 2 : -0.15 A
Tegangan Beban 1 : 0.02 V
Tegangan Beban 2 : 0.02 V
```

Gambar A.3 Uji Micro SD Card Adaptor

Pada Gambar A.3 bahwa penyimpanan data dapat terbaca oleh sensor pada *Micro SD Card* adaptor. Penulisan data yang dapat dilihat pada *serial monitor* tertulis ke bawah, sedangkan penulisan data yang disimpan tertulis kesamping. Pada format data yang dihasilkan dapat berbentuk file CSV.

LAMPIRAN B DATA PENELITIAN

Didapatkan data penelitian berupa hasil radiasi matahari, daya *realtime* panel surya, efisiensi daya normalisasi, suhu, *shading bar*, dan efisiensi konversi pada panel surya. Hasil dapat dilampirkan pada Tabel Lampiran B berikut ini.

Tabel B.1 Data Solar tracking dual axis Hari Pertama Cuaca Hujan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari W/m ²	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Monday, December 4, 2023	6:00	0	27	27,40	18,17	0,38	6,90	6,22	0,00	tidak tampak bayangan
	7:00	147	27	27,60	19,43	0,42	8,16	7,35	12,40	tidak tampak bayangan
	8:00	220	27	36,10	21,45	0,56	12,01	10,82	12,43	tidak tampak bayangan
	9:00	269	29	30,00	21,74	0,57	12,33	11,11	10,10	tidak tampak bayangan
	10:00	458	29	30,10	22,38	0,56	12,52	11,28	6,10	tidak tampak bayangan
	11:00	545	29	33,00	22,43	1,44	32,39	29,18	14,00	tidak tampak bayangan
	12:00	591	29	41,00	22,06	2,01	44,30	39,91	17,60	0,5
	13:00	336	29	35,40	21,83	1,03	22,41	20,19	15,42	tidak tampak bayangan
	14:00	520	29	37,80	21,93	2,09	45,83	41,29	20,60	0,5
	15:00	340	29	38,40	21,58	0,90	19,40	17,47	12,83	tidak tampak bayangan
	16:00	110	29	32,30	20,80	0,21	4,27	3,85	8,50	tidak tampak bayangan
	17:00	66	28	30,90	19,55	0,12	2,35	2,11	8,46	0,5
	18:00	0	28	30,00	7,78	0,11	0,86	0,77	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		277,08	28,38	33,08	20,04	0,80	17,21	15,39	10,65	

Tabel B.2 Data Statis Hari Pertama Cuaca Hujan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari W/m ²	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Monday, December 4, 2023	6:00	0	27	27,20	17,32	0,22	3,81	3,41	0,00	tidak tampak bayangan
	7:00	147	27	27,40	19,13	0,38	7,27	6,50	11,02	tidak tampak bayangan
	8:00	220	27	31,70	21,31	0,20	4,26	3,81	4,41	tidak tampak bayangan
	9:00	269	29	27,60	21,82	0,44	9,60	8,59	7,77	tidak tampak bayangan
	10:00	458	29	29,60	22,50	0,12	2,70	2,41	1,32	tidak tampak bayangan
	11:00	545	29	31,20	22,35	1,13	25,26	22,58	10,82	tidak tampak bayangan
	12:00	591	29	37,60	21,46	1,56	33,48	29,94	13,25	>15
	13:00	336	29	33,80	21,33	0,88	18,77	16,79	12,90	tidak tampak bayangan
	14:00	520	29	37,30	21,68	1,50	32,52	29,08	14,60	>15
	15:00	340	29	37,60	21,19	0,80	16,95	15,16	11,20	tidak tampak bayangan
	16:00	110	29	31,50	20,69	0,18	3,72	3,33	7,10	tidak tampak bayangan
	17:00	66	28	29,80	19,33	0,10	1,93	1,73	6,97	>15
	18:00	0	28	29,80	7,30	0,04	0,29	0,26	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		277,08	28,38	31,70	19,80	0,58	12,35	11,05	7,80	

Tabel B.3 Data *Solar tracking dual axis* Hari Kedua Cuaca Hujan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Wednesday, January 3, 2024	6:00	0	26	29,90	18,27	0,22	4,0	3,62	0,00	tidak tampak bayangan
	7:00	55	26	30,10	18,81	0,46	8,7	7,80	34,51	0,5
	8:00	64	26	27,20	20,40	0,32	6,5	5,88	22,37	1,00
	9:00	86	26	27,70	20,67	0,41	8,5	7,63	21,61	1,00
	10:00	107	26	27,60	21,33	0,51	10,9	9,80	22,30	1,00
	11:00	143	27	28,00	21,55	0,62	13,4	12,04	20,49	0,5
	12:00	162	28	28,00	21,33	0,65	13,9	12,49	18,77	0,5
	13:00	320	28	33,20	21,87	1,16	25,4	22,86	17,39	tidak tampak bayangan
	14:00	288	28	34,10	21,72	1,25	27,2	24,46	20,68	tidak tampak bayangan
	15:00	275	28	34,10	21,59	1,47	31,7	28,59	25,31	1,00
	16:00	191	29	29,20	22,26	0,52	11,6	10,43	13,29	tidak tampak bayangan
	17:00	99	28	27,70	21,28	0,15	3,2	2,88	7,07	tidak tampak bayangan
	18:00	0	28	25,90	15,73	0,05	0,8	0,71	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		137,69	27,23	29,44	20,52	0,60	12,74	11,48	17,22	

Tabel B.4 Data Statis Hari Kedua Cuaca Hujan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Wednesday, January 3, 2024	6:00	0	26	29,30	17,42	0,16	2,8	2,51	0,00	tidak tampak bayangan
	7:00	55	26	29,40	18,91	0,20	3,8	3,41	15,08	tidak tampak bayangan
	8:00	64	26	27,1	20,04	0,16	3,2	2,89	10,99	>15
	9:00	86	26	27,4	20,21	0,29	5,9	5,28	14,95	>15
	10:00	107	26	27,3	20,87	0,38	7,9	7,14	16,26	>15
	11:00	143	27	27,7	21,11	0,50	10,6	9,51	16,19	>15
	12:00	162	28	27,8	20,94	0,52	10,9	9,81	14,74	6,5
	13:00	320	28	31,1	21,14	0,94	19,9	17,90	13,62	tidak tampak bayangan
	14:00	288	28	32,80	20,96	1,01	21,2	19,07	16,12	tidak tampak bayangan
	15:00	275	28	32,40	20,23	1,04	21,0	18,95	16,78	>15
	16:00	191	29	29,30	21,62	0,42	9,1	8,18	10,43	tidak tampak bayangan
	17:00	99	28	27,40	20,57	0,10	2,1	1,85	4,56	tidak tampak bayangan
	18:00	0	28,00	25,50	15,07	0,04	0,6	0,54	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		137,69	27,23	28,81	19,93	0,44	9,14	8,24	11,52	

Tabel B.5 Data *Solar tracking dual axis* Hari Ketiga Cuaca Hujan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Sunday, January 7, 2024	6:00	95	26	38,30	17,52	0,58	10,2	9,15	23,46	0,75
	7:00	323	26	42,40	18,79	1,85	34,8	31,32	23,60	0,75
	8:00	421	27	44,50	21,23	2,11	44,8	40,36	23,34	0,5
	9:00	455	29	37,10	21,74	1,21	26,3	23,70	12,68	tidak tampak bayangan
	10:00	672	29	36,50	22,41	1,71	38,3	34,52	12,51	tidak tampak bayangan
	11:00	455	30	36,50	22,39	1,48	33,1	29,85	15,97	tidak tampak bayangan
	12:00	204	29	35,40	22,06	1,33	29,3	26,43	31,54	tidak tampak bayangan
	13:00	186	26	26,90	21,83	0,28	6,1	5,51	7,21	tidak tampak bayangan
	14:00	406	26	26,80	21,90	0,31	6,8	6,12	3,67	tidak tampak bayangan
	15:00	323	27	24,60	21,85	0,22	4,8	4,33	3,26	tidak tampak bayangan
	16:00	148	27	24,60	21,60	0,11	2,4	2,14	3,52	tidak tampak bayangan
	17:00	83	26	24,40	19,79	0,07	1,4	1,25	3,66	tidak tampak bayangan
	18:00	0	26	24,00	15,46	0,03	0,5	0,42	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		290,08	27,23	32,46	20,66	0,87	18,37	16,55	12,65	

Tabel B.6 Data Statis Hari Ketiga Cuaca Hujan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Sunday, January 7, 2024	6:00	95	26	29,40	16,79	0,19	3,2	2,87	7,37	>15
	7:00	323	26	30,20	18,87	0,26	4,9	4,42	3,33	>15
	8:00	421	27	38,40	21,04	0,64	13,5	12,13	7,02	>15
	9:00	455	29	36,30	21,82	0,88	19,2	17,30	9,26	tidak tampak bayangan
	10:00	672	29	35,00	22,50	1,06	23,9	21,49	7,78	tidak tampak bayangan
	11:00	455	30	35,10	22,27	0,66	14,7	13,24	7,09	tidak tampak bayangan
	12:00	204	29	35,00	21,46	1,04	22,3	20,11	24,00	tidak tampak bayangan
	13:00	186	26	26,5	21,33	0,28	6,0	5,38	7,04	tidak tampak bayangan
	14:00	406	26	26,6	21,30	0,30	6,4	5,76	3,45	tidak tampak bayangan
	15:00	323	27	23,5	21,37	0,21	4,5	4,04	3,05	tidak tampak bayangan
	16:00	148	27	24,4	21,04	0,10	2,1	1,90	3,12	tidak tampak bayangan
	17:00	83	26	24,1	19,16	0,06	1,1	1,04	3,04	tidak tampak bayangan
	18:00	0	26,00	23,7	14,88	0,02	0,3	0,27	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		290,08	27,23	29,86	20,29	0,44	9,39	8,46	6,58	

Tabel B.7 Data *Solar tracking dual axis* Hari Pertama Cuaca Berawan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Monday, December 4, 2023	6:00	79	26	25,4	18,27	0,40	7,31	6,58	20,29	tidak tampak bayangan
	7:00	104	26	26,2	19,33	0,47	9,09	8,18	19,16	tidak tampak bayangan
	8:00	111	26	36,1	20,45	0,47	9,61	8,66	18,99	tidak tampak bayangan
	9:00	158	26	39,1	20,67	0,48	9,92	8,94	13,77	tidak tampak bayangan
	10:00	293	27	45,8	21,33	0,56	11,94	10,76	8,94	tidak tampak bayangan
	11:00	321	27	38,6	21,58	0,59	12,73	11,47	8,70	tidak tampak bayangan
	12:00	383	27	38,1	21,92	0,74	16,22	14,61	9,29	tidak tampak bayangan
	13:00	457	27	44,0	21,87	1,03	22,53	20,29	10,81	tidak tampak bayangan
	14:00	335	27	43,0	21,72	0,56	12,16	10,96	7,96	tidak tampak bayangan
	15:00	332	26	30,2	21,31	0,48	10,23	9,22	6,76	1,00
	16:00	201	27	30,0	20,65	0,27	5,58	5,02	6,08	1,00
	17:00	146	27	27,2	18,55	0,22	4,08	3,68	6,13	tidak tampak bayangan
	18:00	0	27	26,9	7,08	0,21	1,49	1,34	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		224,62	26,62	34,66	19,59	0,50	10,22	9,21	10,53	

Tabel B.8 Data Statis Hari Pertama Cuaca Berawan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Monday, December 4, 2023	6:00	79	26	25,3	17,42	0,20	3,48	3,14	9,67	tidak tampak bayangan
	7:00	104	26	25,9	19,03	0,39	7,42	6,69	15,65	tidak tampak bayangan
	8:00	111	26	31,7	20,11	0,41	8,25	7,43	16,29	tidak tampak bayangan
	9:00	158	26	38,6	20,21	0,44	8,89	8,01	12,34	tidak tampak bayangan
	10:00	293	27	45,8	20,92	0,49	10,25	9,23	7,67	tidak tampak bayangan
	11:00	321	27	39,9	21,11	0,55	11,61	10,46	7,93	tidak tampak bayangan
	12:00	383	27	39,2	20,96	0,67	14,04	12,65	8,04	tidak tampak bayangan
	13:00	457	27	43,4	21,14	0,78	16,49	14,86	7,91	tidak tampak bayangan
	14:00	335	27	41,2	20,96	0,47	9,85	8,87	6,45	tidak tampak bayangan
	15:00	332	26	29,6	20,43	0,40	8,17	7,36	5,40	>15
	16:00	201	27	29,1	20,16	0,18	3,63	3,27	3,96	>15
	17:00	146	27	27,0	18,25	0,20	3,65	3,29	5,48	tidak tampak bayangan
	18:00	0	27	26,5	6,60	0,19	1,25	1,13	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		224,62	26,62	34,09	19,02	0,41	8,23	7,41	8,22	

Tabel B.9 Data *Solar tracking dual axis* Hari Kedua Cuaca Berawan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Thursday, December 7, 2023	6:00	0	27	27,00	19,77	0,56	11,1	9,97	0,00	0,5
	7:00	180	27	28,00	19,60	0,60	11,8	10,59	14,33	tidak tampak bayangan
	8:00	316	27	27,30	20,87	0,66	13,8	12,41	9,56	tidak tampak bayangan
	9:00	621	29	33,80	21,84	0,74	16,2	14,56	5,71	tidak tampak bayangan
	10:00	767	30	39,30	22,38	0,91	20,4	18,35	5,82	1,00
	11:00	619	30	39,70	22,26	1,04	23,2	20,86	8,20	tidak tampak bayangan
	12:00	633	30	49,70	22,63	1,97	44,6	40,16	15,45	0,25
	13:00	531	30	41,90	22,42	1,40	31,4	28,28	12,96	1,00
	14:00	684	30	41,30	22,36	1,54	34,4	31,02	11,04	0,5
	15:00	492	29	46,00	22,43	2,10	47,1	42,44	21,00	0,75
	16:00	253	29	34,90	21,80	1,25	27,3	24,55	23,62	1,00
	17:00	248	29	38,50	22,43	1,12	25,1	22,63	22,22	0,5
	18:00	0	28	28,30	15,69	0,16	2,5	2,26	0,00	1,00
Rata-rata		411,08	28,85	36,59	21,27	1,08	23,74	21,39	11,53	

Tabel B.10 Data Statis Hari Kedua Cuaca Berawan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Thursday, December 7, 2023	6:00	0	27	26,20	18,92	0,50	9,5	8,52	0,00	>15
	7:00	180	27	27,50	19,82	0,51	10,1	9,11	12,32	tidak tampak bayangan
	8:00	316	27	27,50	20,30	0,54	11,0	9,88	7,61	tidak tampak bayangan
	9:00	621	29	33,60	21,48	0,70	15,0	13,55	5,31	tidak tampak bayangan
	10:00	767	30	38,10	21,97	0,69	15,2	13,66	4,33	>15
	11:00	619	30	39,20	21,80	0,82	17,9	16,10	6,33	tidak tampak bayangan
	12:00	633	30	48,80	22,21	1,17	26,0	23,41	9,00	7,00
	13:00	531	30	43,20	22,04	0,88	19,4	17,47	8,01	6,50
	14:00	684	30	40,50	21,89	0,98	21,5	19,33	6,88	>15
	15:00	492	29	45,40	22,11	1,20	26,5	23,90	11,83	>15
	16:00	253	29	33,00	20,94	0,37	7,7	6,98	6,72	>15
	17:00	248	29	35,70	21,48	0,30	6,4	5,81	5,70	>15
	18:00	0	28	26,40	14,71	0,09	1,3	1,19	0,00	>15
Rata-rata		411,08	29	35,78	20,74	0,67	14,42	12,99	6,46	

Tabel B.11 Data Solar tracking dual axis Hari Ketiga Cuaca Berawan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Saturday, January 13, 2024	6:00	0	26	40,10	20,15	0,59	11,9	10,71	0,00	0,75
	7:00	249	26	36,40	21,14	1,28	27,1	24,38	23,84	0,75
	8:00	380	26	47,90	22,43	1,29	28,9	26,07	16,70	0,5
	9:00	338	28	35,50	22,38	1,18	26,4	23,79	17,14	tidak tampak bayangan
	10:00	451	28	36,00	22,34	1,50	33,5	30,19	16,30	tidak tampak bayangan
	11:00	652	29	36,60	22,31	1,33	29,7	26,73	9,98	tidak tampak bayangan
	12:00	673	29	34,30	21,91	1,33	29,1	26,25	9,50	tidak tampak bayangan
	13:00	641	29	36,30	22,30	1,34	29,9	26,92	10,22	tidak tampak bayangan
	14:00	556	29	32,30	22,35	1,17	26,1	23,56	10,32	tidak tampak bayangan
	15:00	546	28	35,10	22,38	1,53	34,2	30,85	13,76	tidak tampak bayangan
	16:00	312	28	34,30	22,39	1,56	34,9	31,47	24,55	0,5
	17:00	104	27	28,70	21,48	0,32	6,9	6,19	14,50	tidak tampak bayangan
	18:00	0	27	28,60	17,93	0,12	2,2	1,94	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		377,08	27,69	35,55	21,65	1,12	24,68	22,23	12,83	

Tabel B.12 Data Statis Hari Ketiga Cuaca Berawan

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Saturday, January 13, 2024	6:00	0	26	31,00	19,39	0,15	2,9	2,62	0,00	>15
	7:00	249	26	28,00	20,50	0,25	5,1	4,62	4,51	>15
	8:00	380	26	41,40	21,90	0,68	14,9	13,42	8,60	>15
	9:00	338	28	34,30	21,19	0,89	18,9	16,99	12,24	tidak tampak bayangan
	10:00	451	28	34,20	21,90	1,07	23,4	21,11	11,40	tidak tampak bayangan
	11:00	652	29	35,10	21,74	0,99	21,5	19,39	7,24	tidak tampak bayangan
	12:00	673	29	33,70	21,26	1,06	22,5	20,30	7,34	tidak tampak bayangan
	13:00	641	29	35,60	22,12	0,81	17,9	16,14	6,13	tidak tampak bayangan
	14:00	556	29	31,50	22,10	0,83	18,3	16,53	7,24	tidak tampak bayangan
	15:00	546	28	33,50	22,02	1,03	22,7	20,43	9,11	tidak tampak bayangan
	16:00	312	28	31,20	22,33	1,10	24,6	22,13	17,27	>15
	17:00	104	27	28,50	21,00	0,24	5,0	4,54	10,63	tidak tampak bayangan
	18:00	0	27,00	26,60	16,10	0,09	1,4	1,31	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		377,08	27,69	32,66	21,04	0,71	15,33	13,81	7,82	

Tabel B.13 Data *Solar tracking dual axis* Hari Pertama Cuaca Cerah

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Tuesday, December 5, 2023	6:00	73	26	27,80	21,07	0,25	5,3	4,75	15,83	1,50
	7:00	230	26	40,20	21,91	0,93	20,4	18,36	19,43	0,5
	8:00	361	27	37,30	22,38	1,26	28,2	25,40	17,13	1,00
	9:00	546	29	57,30	22,32	2,02	45,1	40,62	18,11	0,5
	10:00	669	30	51,40	22,43	2,49	55,9	50,32	18,31	1,00
	11:00	838	30	53,00	22,10	3,06	67,6	60,92	17,70	0,5
	12:00	869	32	54,30	22,35	3,36	75,1	67,65	18,95	0,5
	13:00	899	30	53,20	22,38	3,54	79,2	71,37	19,33	1,00
	14:00	851	30	61,50	22,43	3,72	83,4	75,17	21,51	1,00
	15:00	597	29	49,00	22,04	2,62	57,7	52,02	21,21	0,5
	16:00	413	29	44,30	20,61	1,86	38,3	34,54	20,36	1,00
	17:00	89	29	31,50	18,66	0,26	4,9	4,37	11,96	1,00
	18:00	0	28	27,70	9,62	0,09	0,9	0,78	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		495,00	29	45,27	20,79	1,96	43,23	38,94	16,91	

Tabel B.14 Data Statis Hari Pertama Cuaca Cerah

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Tuesday, December 5, 2023	6:00	73	26	27,60	20,22	0,20	4,0	3,64	12,15	>15
	7:00	230	26	36,70	21,01	0,22	4,6	4,16	4,41	>15
	8:00	361	27	30,50	20,27	0,74	15,0	13,51	9,11	>15
	9:00	546	29	49,50	20,32	1,82	37,0	33,32	14,86	>15
	10:00	669	30	47,30	21,17	1,40	29,6	26,70	9,72	>15
	11:00	838	30	52,80	21,10	2,15	45,4	40,87	11,87	5,50
	12:00	869	31	51,50	21,45	2,36	50,6	45,61	12,78	3,50
	13:00	899	30	52,40	21,58	2,51	54,2	48,80	13,22	7,00
	14:00	851	30	58,50	21,28	2,63	56,0	50,42	14,42	>15
	15:00	597	29	48,00	21,01	1,52	31,9	28,77	11,73	>15
	16:00	413	29	39,60	19,83	0,86	17,1	15,36	9,06	>15
	17:00	89	29	30,30	18,05	0,15	2,7	2,44	6,67	>15
	18:00	0	28	27,10	9,59	0,03	0,3	0,26	0,00	tidak tampak bayangan
Rata-rata		495,00	29	42,45	19,76	1,28	26,80	24,14	10,00	

Tabel B.15 Data *Solar tracking dual axis* Hari Kedua Cuaca Cerah

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Wednesday, December 6, 2023	6:00	27	26	30,50	21,20	0,80	17,0	15,28	0,00	0,25
	7:00	333	26	44,10	21,65	1,43	31,0	27,89	20,39	0,5
	8:00	531	27	46,00	22,32	2,18	48,7	43,84	20,10	0,5
	9:00	605	29	51,10	21,70	2,46	53,4	48,09	19,35	0,5
	10:00	702	29	41,70	22,32	3,02	67,4	60,73	21,06	0,5
	11:00	728	30	49,20	22,41	3,16	70,8	63,80	21,34	0,5
	12:00	786	30	52,60	22,45	3,20	71,8	64,72	20,05	0,25
	13:00	852	31	51,60	22,40	3,52	78,8	71,03	20,30	0,75
	14:00	734	31	50,10	22,32	3,13	69,9	62,94	20,88	0,75
	15:00	641	29	47,90	22,39	2,73	61,1	55,07	20,92	0,75
	16:00	462	29	47,40	22,32	2,01	44,9	40,42	21,30	0,75
	17:00	226	27	39,30	21,75	1,25	27,2	24,49	26,39	0,25
	18:00	0	27	27,80	9,27	0,02	0,2	0,17	0,00	0,5
Rata-rata		509,77	29	44,56	21,12	2,22	49,39	44,50	17,85	

Tabel B.16 Data Statis Hari Kedua Cuaca Cerah

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Wednesday, December 6, 2023	6:00	27	26	30,10	20,19	0,36	7,3	6,55	0,00	>15
	7:00	333	26	34,10	20,60	0,50	10,3	9,28	6,78	>15
	8:00	531	27	42,10	21,59	1,19	25,7	23,15	10,61	>15
	9:00	605	29	49,20	21,33	1,34	28,6	25,75	10,36	>15
	10:00	702	29	39,20	21,58	2,21	47,7	42,97	14,90	>15
	11:00	728	30	47,30	21,58	2,33	50,3	45,30	15,15	>15
	12:00	786	30	49,50	21,82	2,45	53,5	48,16	14,92	>15
	13:00	852	31	51,80	21,74	2,42	52,6	47,40	13,54	>15
	14:00	734	31	43,90	21,37	2,01	43,0	38,70	12,84	>15
	15:00	641	29	44,60	21,12	1,52	32,1	28,92	10,98	>15
	16:00	462	29	39,10	21,87	0,91	19,9	17,93	9,45	>15
	17:00	226	27	35,90	20,82	0,53	11,0	9,94	10,71	>15
	18:00	0	27	27,30	8,93	0,01	0,1	0,08	0,00	>15
Rata-rata		509,77	29	41,08	20,35	1,37	29,38	26,47	10,02	>15

Tabel B.17 Data *Solar tracking dual axis* Hari Ketiga Cuaca Cerah

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Saturday, December 9, 2023	6:00	128	27	27,80	20,70	0,43	8,9	8,02	15,25	1,00
	7:00	196	27	34,30	20,86	0,72	15,0	13,53	16,81	0,50
	8:00	507	27	47,00	21,72	2,04	44,3	39,92	19,17	0,50
	9:00	646	29	54,80	21,73	2,36	51,3	46,20	17,41	0,00
	10:00	705	29	41,30	22,12	2,85	63,0	56,79	19,61	tidak tampak bayangan
	11:00	782	29	50,10	22,25	2,80	62,3	56,13	17,47	0,50
	12:00	807	30	36,50	22,21	3,15	70,0	63,03	19,01	tidak tampak bayangan
	13:00	550	30	40,80	22,35	2,41	53,9	48,53	21,48	0,50
	14:00	548	30	40,80	22,25	2,80	62,3	56,13	24,93	0,25
	15:00	539	29	41,30	22,25	2,67	59,4	53,52	24,17	0,50
	16:00	293	29	35,90	21,87	1,29	28,2	25,42	21,12	0,75
	17:00	159	28	31,90	20,90	0,33	6,9	6,21	9,51	0,75
	18:00	50	29	27,90	14,35	0,10	1,4	1,29	6,29	tidak tampak bayangan
Rata-rata		454,62	28,69	39,26	21,20	1,84	40,53	36,52	17,87	

Tabel B.18 Data Statis Hari Ketiga Cuaca Cerah

Tanggal	Waktu (Jam)	Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu Lingkungan (°C)	Suhu Panel (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Efisiensi Normalisasi (%)	Efisiensi Konversi (%)	Kesalahan Sudut (°)
Saturday, December 9, 2023	6:00	128	27	26,90	19,85	0,33	6,6	5,90	11,22	>15
	7:00	196	27	32,70	19,94	0,40	8,0	7,19	8,93	>15
	8:00	507	27	42,20	21,09	0,52	11,0	9,88	4,74	>15
	9:00	646	29	48,00	21,39	0,94	20,1	18,11	6,83	>15
	10:00	705	29	40,30	21,49	1,42	30,5	27,49	9,49	tidak tampak bayangan
	11:00	782	29	49,00	21,74	1,61	35,0	31,53	9,82	>15
	12:00	807	30	35,50	21,89	1,73	37,9	34,12	10,29	tidak tampak bayangan
	13:00	550	31	39,40	22,04	1,64	36,1	32,56	14,41	13,00
	14:00	548	30	40,00	21,91	1,71	37,5	33,75	15,00	>15
	15:00	539	29	39,30	21,61	1,49	32,2	29,01	13,10	>15
	16:00	293	29	34,90	21,60	0,69	14,9	13,43	11,16	>15
	17:00	159	28	31,80	20,63	0,23	4,7	4,27	6,55	>15
	18:00	50	29,00	27,00	13,86	0,07	1,0	0,87	4,26	>15
Rata-rata		454,62	28,77	37,46	20,70	0,98	21,19	19,09	9,68	

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN DATA

Seperti yang dapat terlihat pada Bab 4 terdapat grafik dan pada Lampiran B terdapat hasil data perbandingan panel surya *solar tracking dual axis* dengan panel surya statis. Berdasarkan teori pada persamaan (2.1), Persamaan (2.2), Persamaan (2.3), dan Persamaan (2.4) untuk menghitung daya *output*, efisiensi daya normalisasi, efisiensi konversi dapat dicontohkan sebagai berikut. Contoh perhitungan menggunakan data tanggal 5 Desember 2023 pada pukul 14:00.

A. Perhitungan Daya Output

Diketahui:

Tegangan = 22,43 volt

Arus = 3,72 ampere

Maka:

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

$$P_{out} = 22,43 \times 3,72$$

$$P_{out} = 83,4 \text{ W}$$

B. Perhitungan Efisiensi Daya Normalisasi

Diketahui:

$P_{act} = 83,4 \text{ W}$

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

Maka:

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

$$\eta_n = \frac{83,4}{111} \times 100\%$$

$$\eta_n = 75,17\%$$

C. Perhitungan Efisiensi Konversi

Diketahui:

$$P_{act} = 83,4 \text{ W}$$

$$G = 851 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0,45593 \text{ m}^2$$

Maka:

$$P_{in} = G \times A$$

$$P_{in} = 851 \times 0,45593$$

$$P_{in} = 388 \text{ W}$$

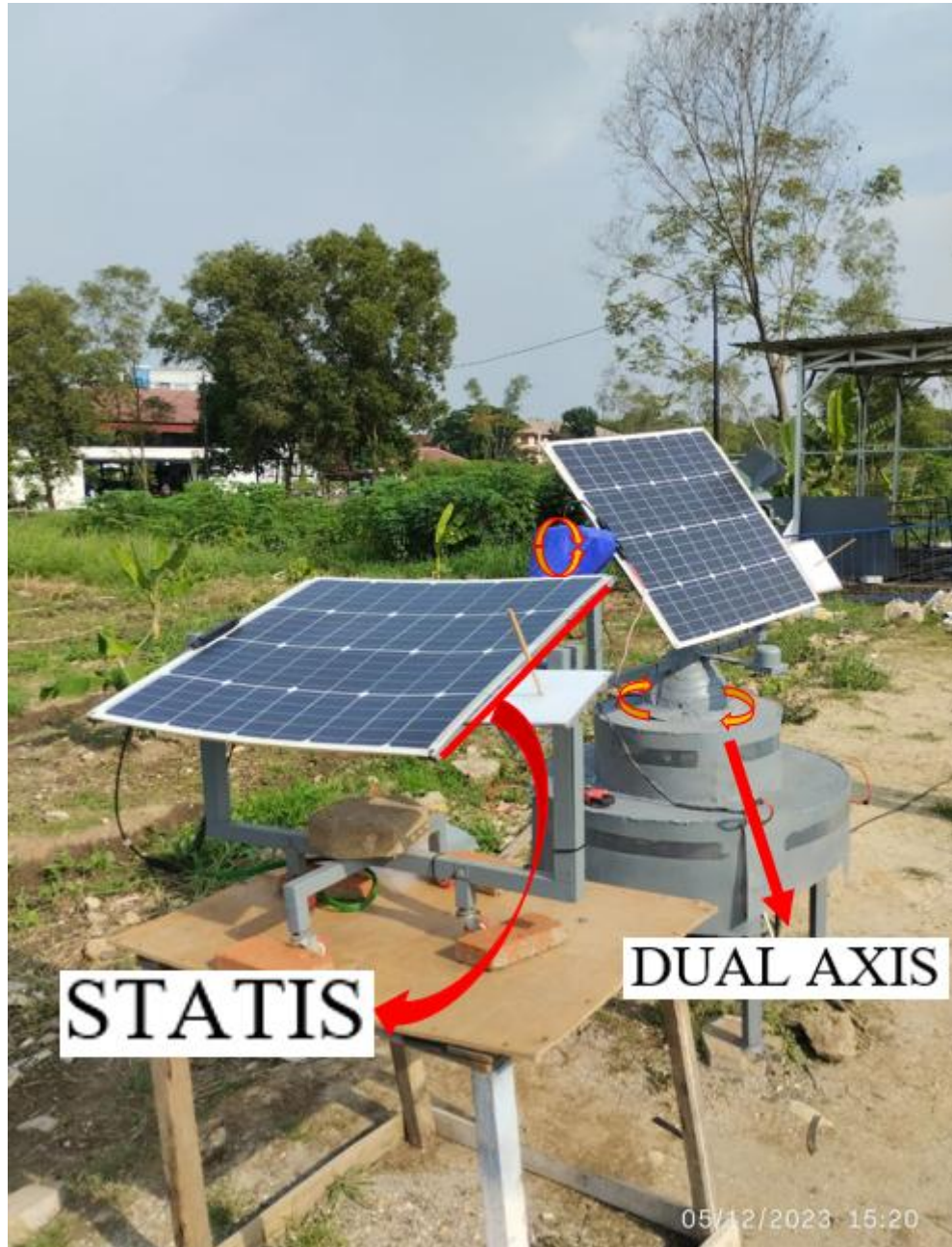
$$\eta_p = \frac{P_{act}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_p = \frac{83,4}{388} \times 100\%$$

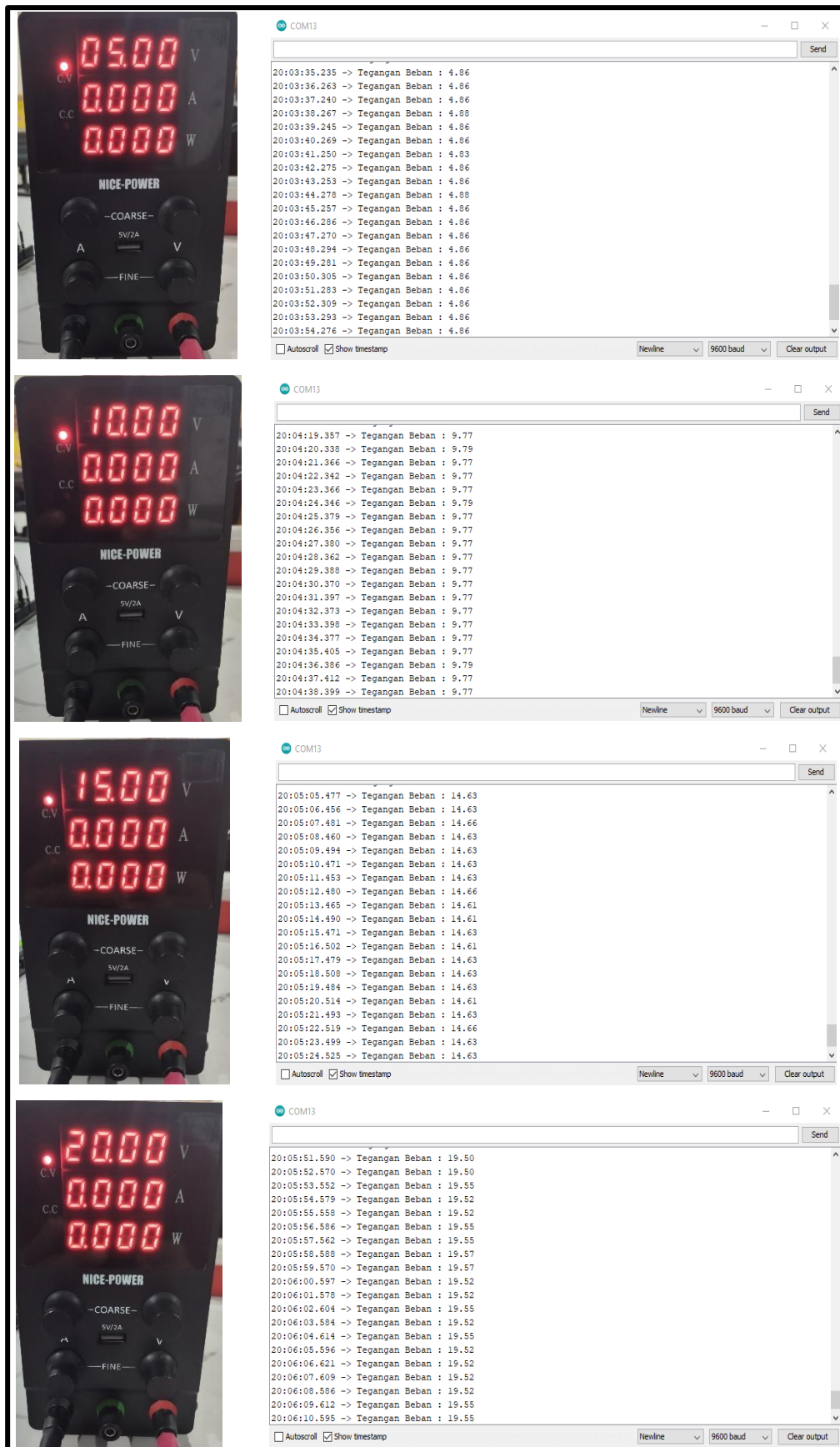
$$\eta_p = 21,5 \%$$

LAMPIRAN D DOKUMENTASI FOTO PENELITIAN

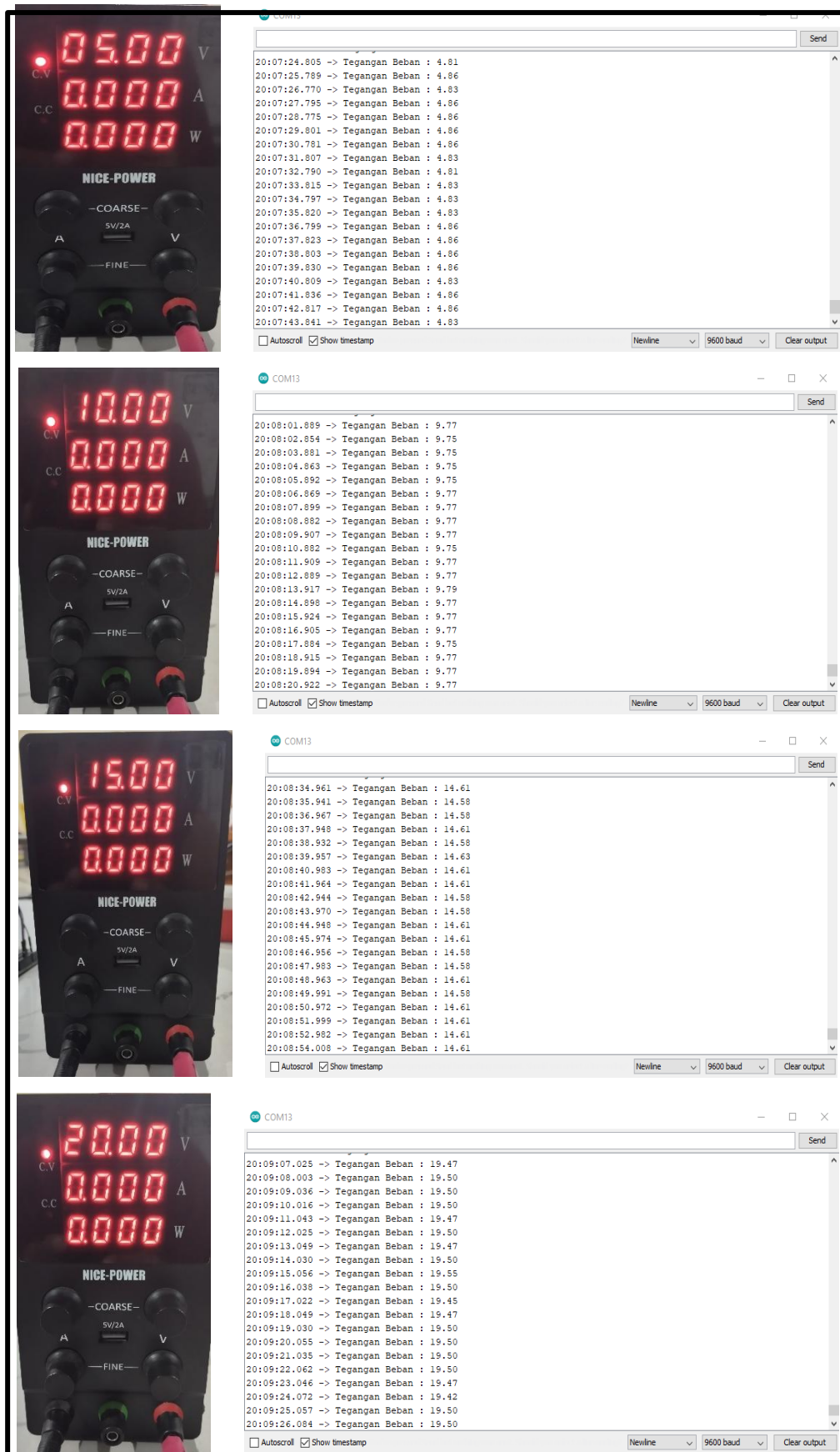
Pada lampiran D berisi tentang dokumentasi pada penelitian yang telah dilakukan, dapat terlihat sebagai berikut:



Gambar D.1 Pengambilan Data Panel Surya *Dual Axis* dan Statis



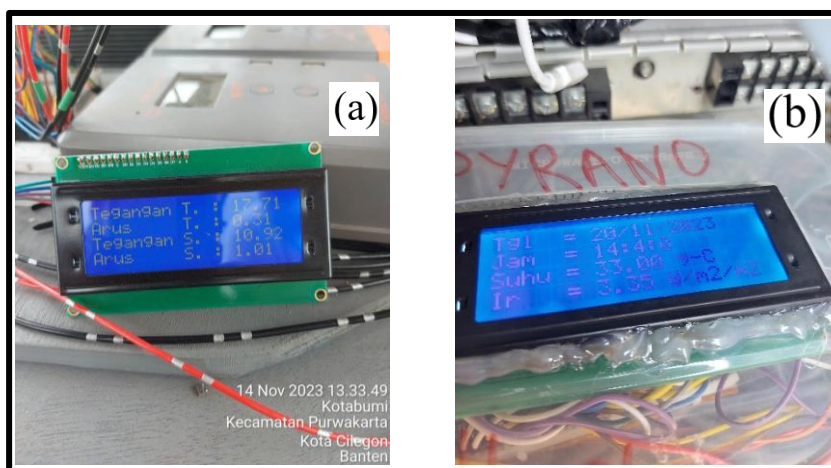
Gambar D.2 Dokumentasi Pengujian Sensor Tegangan Statis



Gambar D.3 Pengujian Sensor Tegangan *Tracking*



Gambar D.4 Dokumentasi *Team Capstone*



Gambar D.5 Dokumentasi LCD; (a) Tegangan, (b) *Pyranometer*



Gambar D.6 Dokumentasi *Pyranometer*

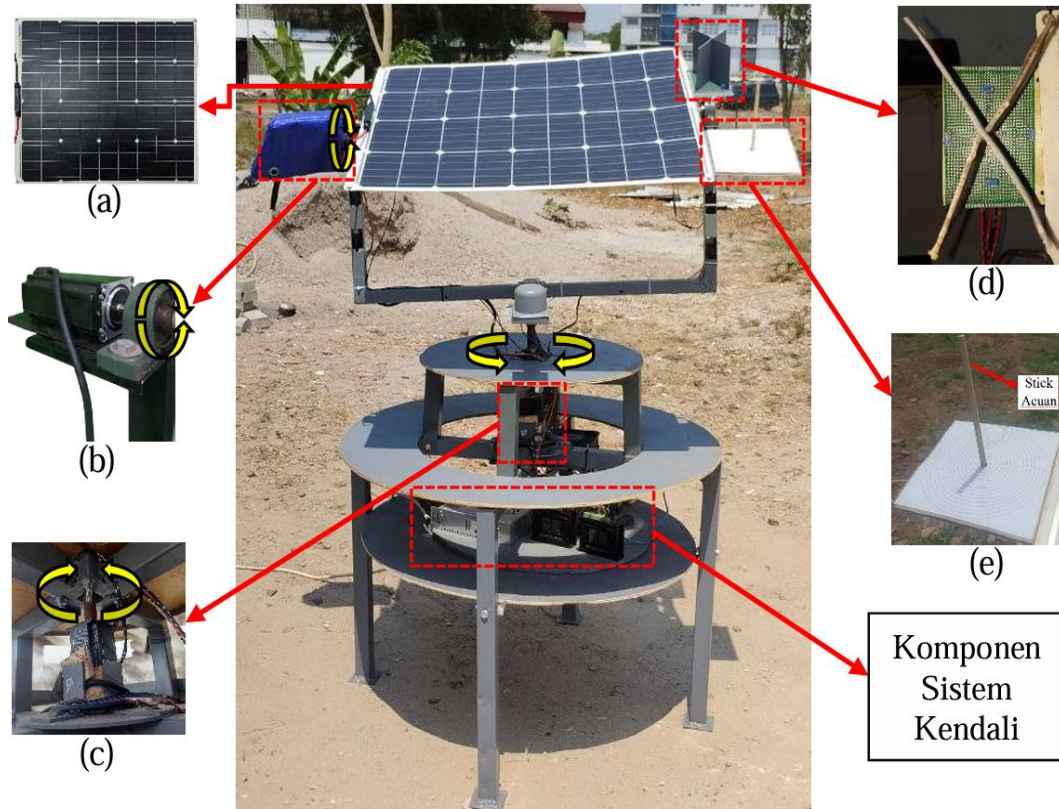


Gambar D.7 Dokumentasi Motor *Stepper* 1 dan 2

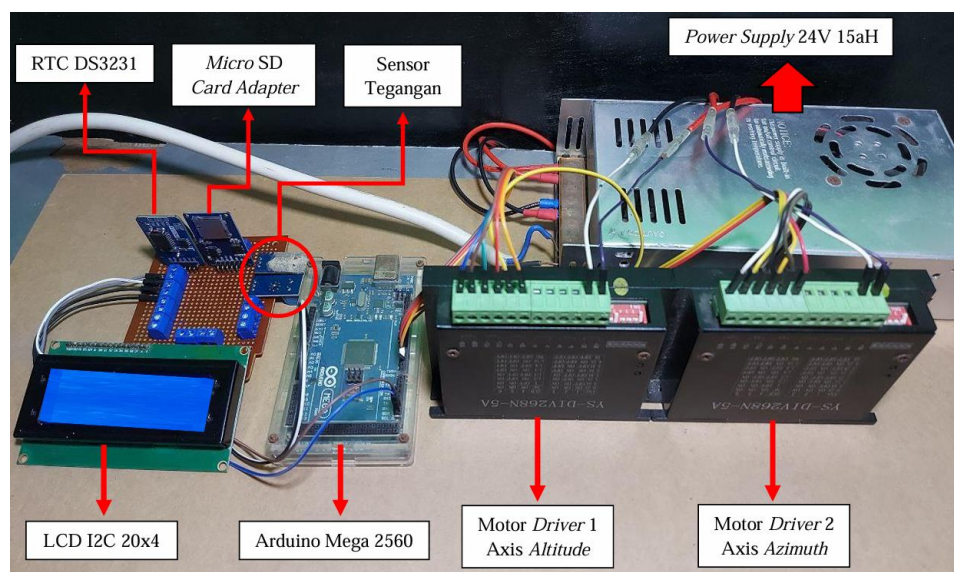


Gambar D.8 Dokumentasi Pengambilan Data Cuaca Hujan

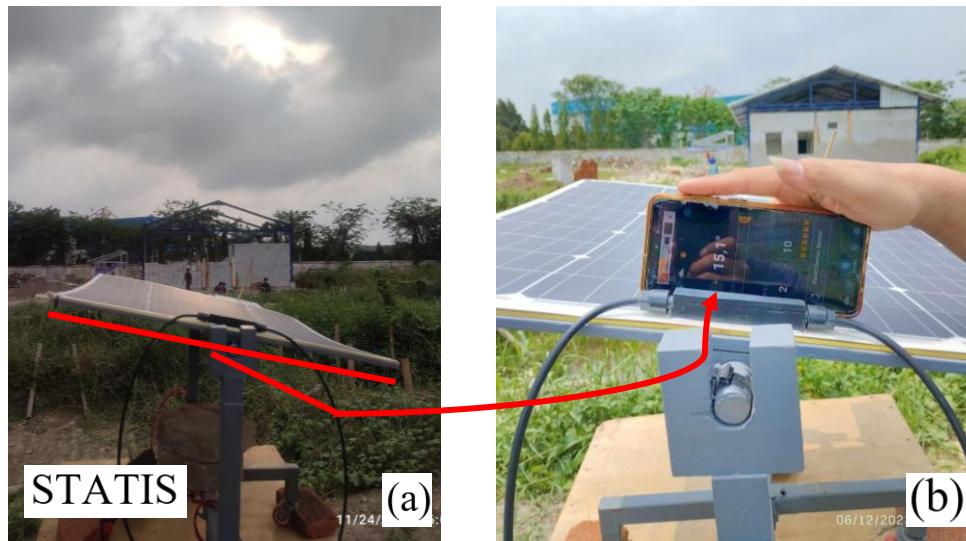
LAMPIRAN E KENDALI ALAT



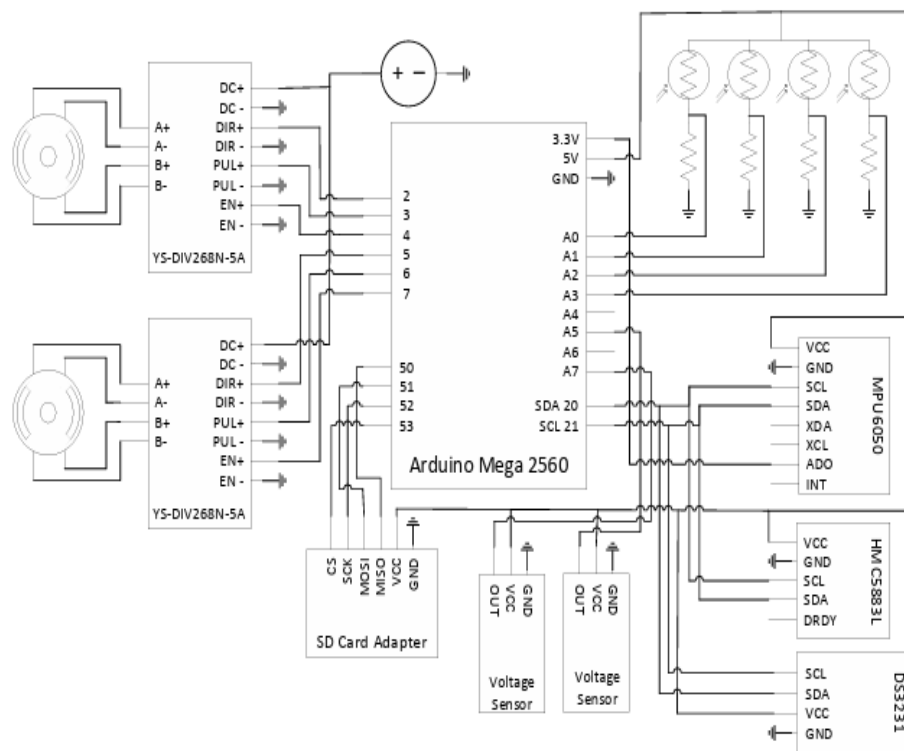
Gambar E.1 Panel Surya Solar tracking dual axis; (a) Panel Surya Half-cut Monocrystalline 85 W, (b) Motor Stepper Pertama Sudut Altitude, (c) Motor Stepper Kedua Sudut Azimuth, (d) Sensor LDR, (e) Shading bar



Gambar E.2 Komponen Sistem Kendali



Gambar E.3 Panel Surya Statis; (a) Tampak Panel, (b) Sudut Kemiringan Panel

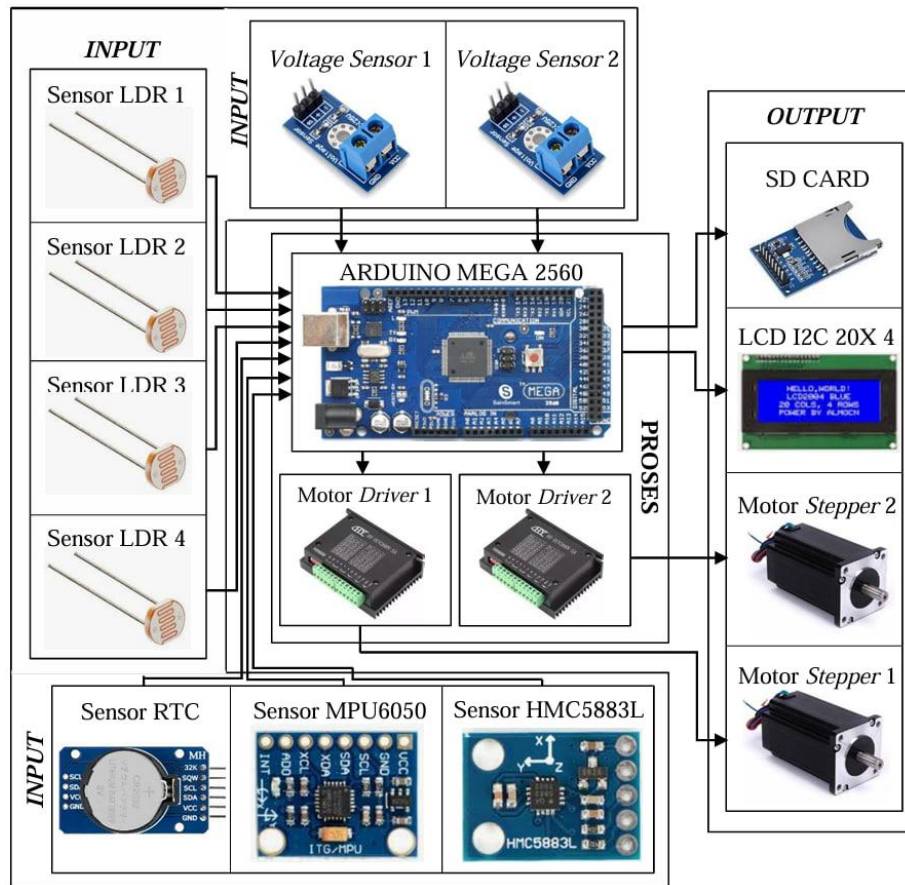


Gambar E.4 Single Line Diagram Kendali Solar tracking dual axis

Seperti pada Gambar E.4 merupakan *single line diagram* kendali panel surya *solar tracking dual axis* yang dibuat menggunakan *software* Ms. Visio. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pengendali berbagai komponen-komponen

yang digunakan, seperti *voltage sensor*, sensor LDR, sensor MPU6050, sensor HMC5883L, sensor RTC, SD card adaptor, motor driver, dan motor stepper.

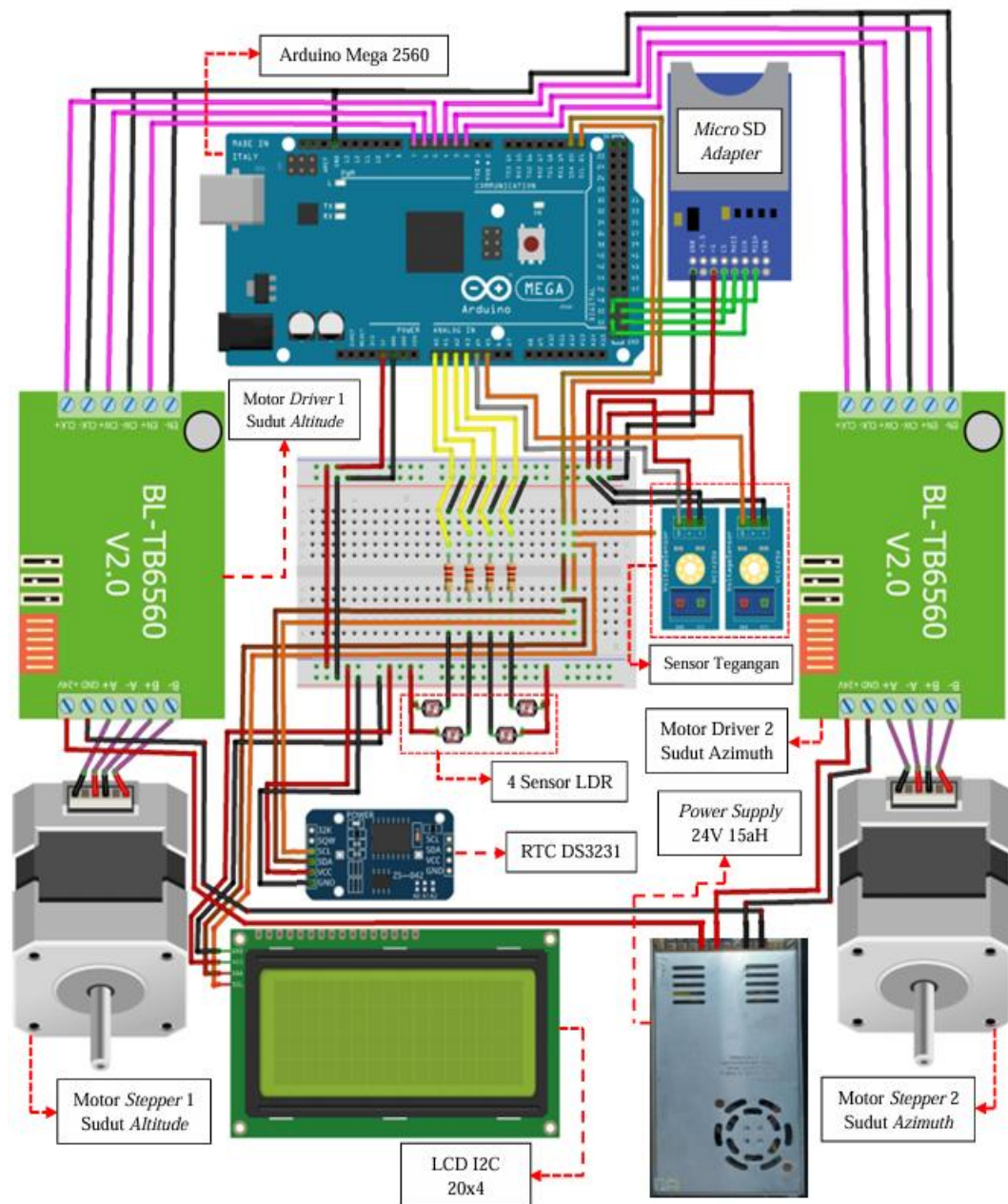
Diagram blok sistem penelitian diperlukan sebagai pemodelan kesatuan alat yang dibangun dan saling terhubung menjadi sistem *data logger*. Seperti yang dapat terlihat pada Gambar E.5 pemodelan *diagram* blok sistem kendali alat yang merupakan penyusunan dari berbagai komponen yang digunakan. Adanya penggambaran *diagram* blok ini memudahkan untuk pembuatan alat sistem kendali, dengan mengetahui 3 tahapan yang terdapat pada pada *diagram* blok tersebut.



Gambar E.5 *Diagram* Blok Sistem Kendali Solar tracking dual axis

Pada Gambar E.5 *diagram* blok sistem mempunyai 3 tahapan sebagai sistem kendali, yang pertama adalah tahapan *input* terdapat 2 buah sensor tegangan sebagai pendeteksi tegangan pada panel surya statis dan panel surya solar tracking dual axis, 4 buah sensor LDR sebagai pengindraan arah pergerakan matahari, sensor MPU6050 sebagai pendeteksi perubahan sudut *altitude*, Sensor HMC5883L sebagai pendeteksi perubahan sudut *azimuth*, sensor RTC sebagai pengukur waktu

real time. Selanjutnya masuk pada tahapan proses terdapat Arduino Mega 2560 yang menerima *input* dari sebelumnya lalu memproses *input* ke 2 buah Motor *driver*. Setelah selesai pada tahapan proses kemudian masuk pada tahapan terakhir yaitu *output* terdapat SD card adaptor sebagai penyimpan data yang diterima dari proses Arduino, LCD I2C sebagai penampil data tegangan dan waktu, serta 2 buah motor *stepper* NEMA 23 sebagai penggerak pada panel surya *solar tracking dual axis* setelah menerima *input* proses dari motor *driver*. Selain penggambaran *diagram* blok, Adapun penggambaran lain dengan menggunakan software *fritzing* seperti yang terdapat pada Gambar E.6 berikut ini.



Gambar E.6 Rangkaian Sistem Kendali *Solar tracking dual axis*

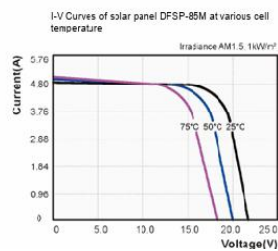
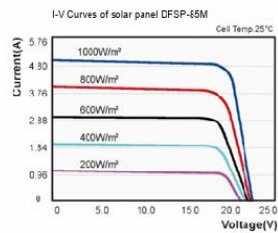
Solar Module

DFSP-85M

High Quality Solar Panel



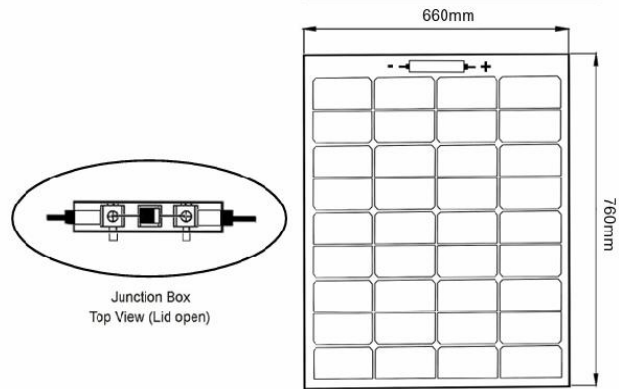
I-V Curves



Electrical Characteristics	DFSP-85M
Maximum power (Pmax)	85WP
Voltage at Pmax (Vmp)	18.00V
Current at Pmax (Imp)	4.72A
Open-circuit voltage (Voc)	22.50V
Short-circuit current (Isc)	4.97A
Maximum series fuse	15A
Maximum system voltage	1000V DC
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	-45°C to 80°C
Cells	monocrystalline half-cut solar cell
Power tolerance	+ 3%
No. of cells and connections	36(4X9)
Module Dimension	760 x 660 x 1mm
Weight	0.9kg

* STC: Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C, efficiency 22%
 * Specifications are subject to change without notice at any time.

Module Diagram



Gambar E.7 Technical Parameter Solar Panel 85 W