

**ANALISIS PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN SOLAR
PANEL (*PHOTOVOLTAIC*) *MONOCRYSTALLINE* 50 WP
TERHADAP OPTIMALISASI OUTPUT DAYA**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SARJANA SATU (S1) PADA PROGRAM STUDI
TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS
ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



DISUSUN OLEH :
WIJAYANTI SEKARNINGRUM
30601900043

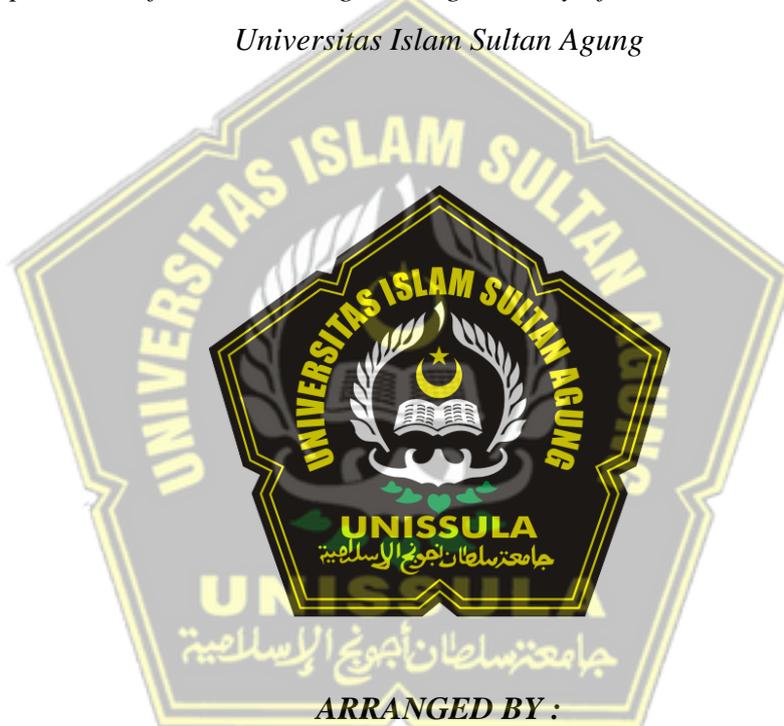
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF TILT ANGLE ON THE
OPTIMIZATION OF POWER OUTPUT OF 50 WP
MONOCRYSTALLINE SOLAR PANEL (PHOTOVOLTAIC)***

FINAL PROJECT

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (SI) at
Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



ARRANGED BY :

WIJAYANTI SEKARNINGRUM

30601900043

***MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG***

2023

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Solar Panel (*Photovoltaic*) *Monocrystalline* 50 Wp Terhadap Optimalisasi Output Daya” ini disusun oleh:

Nama : Wijayanti Sekarningrum

NIM : 30601900043

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 15 Agustus 2023

Pembimbing I



Ir. Budi Pramono Jati, MM., MT
NIDN. 0623126501

Pembimbing II



Ir. Hj. Ida Widi Hastuti, MT
NIDN. 0005036501

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro



UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO

Jenny Putri Hapsari, ST., MT
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Solar Panel (Photovoltaic) Monocrystalline 50 Wp Terhadap Optimalisasi Output Daya**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

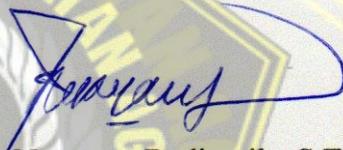
Hari : Selasa

Tanggal : 15 Agustus 2023

Penguji I

Penguji II


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT
NIDN : 0628086501


Dr. Eka Nuryanto Budisusila, S.T., M.T
NIDN : 0619107301


Ketua Penguji

Gunawan S.T., M.T
NIDN. 0607117101

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : WIJAYANTI SEKARNINGRUM

Nim : 30601900043

Fakultas : TEKNOLOGI INDUSTRI

Program Studi : S1 TEKNIK ELEKTRO

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri UNISSULA Semarang** dengan judul “**Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Solar Panel (Photovoltaic) Monocrystalline 50 Wp Terhadap Optimalisasi Output Daya**”, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan pernah tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 28 Agustus 2023

Yang Menyatakan

Mahasiswa



Wijayanti Sekarningrum

NIM. 30601900043

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wijayanti Sekarningrum
NIM : 30601900043
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul :
**“Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Solar Panel (*Photovoltaic*)
Monocrystalline 50 Wp Terhadap Optimalisasi Output Daya”**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 28 Agustus 2023

Yang Menyatakan
Mahasiswa



Wijayanti Sekarningrum

NIM. 30601900043

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb

Puji dan syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME Allah SWT, karena berkat Rahmat dan karunia-Nya lah penulis diberikan kesehatan rohani dan jasmani sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Solar Panel (*Photovoltaic*) *Monocrystalline* 50 Wp Terhadap Optimalisasi Output Daya**” ini dengan baik dan lancar. Penulisan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat yang menjadi kewajiban kita untuk meraih Gelar Sarjana (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Banyak hambatan dan rintangan yang terjadi dalam penulisan maupun penelitian Tugas Akhir ini, namun berkat bantuan yang telah diberikan oleh banyak pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat keimanan dan Kesehatan kepada manusia.
2. Ayah Ibu serta keluarga yang selalu mendoakan, menyemangati dan mendukung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
3. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST., MT Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang
5. Bapak Ir. Budi Pramono Jati, MM., MT Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah membimbing, mengarahkan, serta memotivasi dengan sangat baik dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Ibu Ir. Hj. Ida Widihastuti, MT Selaku Dosen Pembimbing kedua yang juga telah telah membimbing dan mengarahkan dengan sangat baik dalam penyusunan Tugas Akhir.
7. Bapak Drajat Widiarto, ST Selaku Laboran yang telah membantu dan mendukung saya dalam penyusunan Tugas Akhir.
- 8.

9. Teman-teman jurusan Teknik Elektro khususnya Angkatan 2019 yang telah memberikan semangat dan dukungan hingga Tugas Akhir ini dapat selesai. Semoga teman teman bisa segera untuk menyelesaikan Tugas Akhirnya juga.
10. Alfian Ahmad Khoirunnisam yang telah memberikan dukungan dan semangat pada saat penyusunan Tugas Akhir hingga selesai.
11. Seluruh anggota NCT yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah menjadi penyemangat penulis.
12. Semua pihak yang telah membantu penyusunan dan atau penelitian Tugas Akhir hingga selesai yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak guna untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu elektro dan juga para mahasiswa UNISSULA

Terimakasih.

Wassalamualaikum wr.wb

Semarang, 28 Agustus 2023

Penyusun



Wijayanti Sekarningrum

NIM. 30601900043

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>FINAL PROJECT</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori.....	7

2.2.1	Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	7
2.2.2	Modul <i>Photovoltaic</i>	9
2.2.3	Struktur Fisik Modul <i>Photovoltaic</i>	11
2.2.3.1	Jenis-jenis <i>Photovoltaic</i>	12
2.2.4	Solar Tracking System	14
2.2.5	Pengaruh Iradiasi Terhadap Panel Surya	15
2.2.6	Pemodelan Radiasi Pada Permukaan Miring	16
2.2.4.1	Radiasi langsung	21
2.2.4.2	Radiasi Difusi.....	21
2.2.4.3	Radiasi Pantul	22
2.2.7	Infrared dan Ultraviolet.....	22
2.2.8	Daya dan Efisiensi pada Panel Surya.....	25
2.2.9	Power Budget (Kebutuhan PLTS)	26
2.2.9.1	Menghitung Baterai.....	27
2.2.9.2	Menghitung Panel Surya.....	27
2.2.10	Posisi Matahari.....	28
BAB III	31
3.1	Metode Penelitian.....	31
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3	Komponen Penelitian	31
3.4	Cara Pengukuran Arah Matahari	32
3.5	Cara Pengukuran Sudut	35
3.6	Diagram Blok	35
3.7	Diagram Alur Penelitian.....	36
3.8	Rangkaian Penelitian	37

3.9	Prosedur Penelitian.....	37
3.8.1	Pengujian Keluaran Panel Surya dan Kalibrasi Alat.....	38
3.8.2	Pengujian Panel Surya Sudut Kemiringan Diubah	38
3.8.3	Pengujian Panel Surya Sudut Kemiringan Tetap	39
BAB IV		41
HASIL DAN ANALISA.....		41
4.1	Sudut Optimal Panel Surya	42
4.2	Tegangan, Arus dan Intensitas Cahaya Terhadap Waktu Pada Panel Surya 50 WP.....	45
4.2.1	Panel Surya dengan Sudut 90° (Sudut Tetap atau Tidak Diubah) ..	45
4.2.2	Panel Surya Berdasarkan Sudut Kemiringan Diubah	48
4.3	Daya Keluaran Terhadap Waktu pada Panel Surya	50
4.4	Temperatur Panel Surya Terhadap Waktu Panel Surya 50 Wp	53
No	54
BAB V.....		56
PENUTUP.....		56
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		58
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....		61

DAFTAR GAMBAR

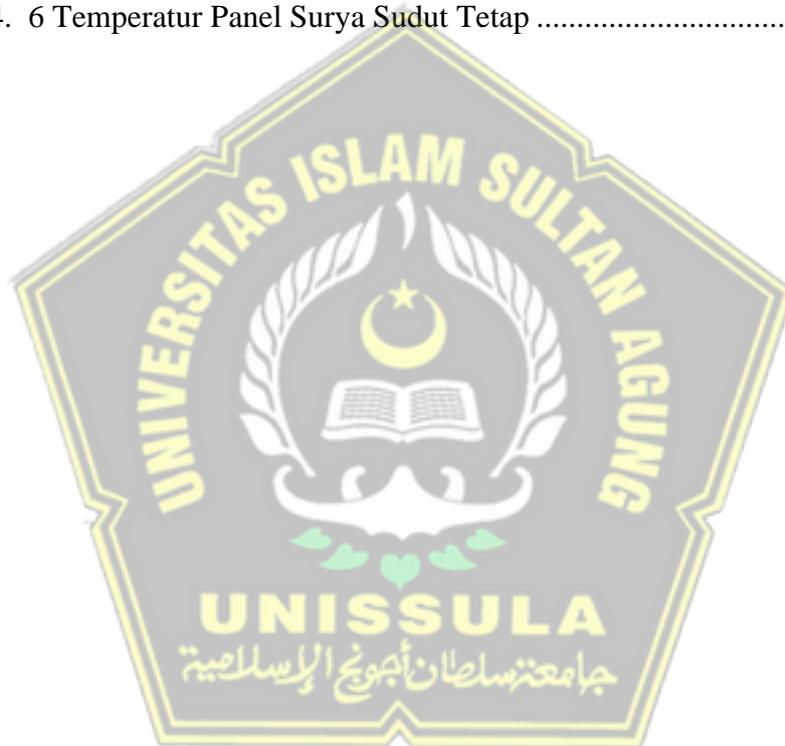
Gambar 2. 1 Modul <i>Photovoltaic</i>	9
Gambar 2. 2 Kurva Arus-Tegangan (I-V) Modul Surya.....	10
Gambar 2. 3 Struktur Fisik Modul <i>Photovoltaic</i>	11
Gambar 2. 4 <i>Monocrystalline</i> Dan <i>Polycrystalline</i>	12
Gambar 2. 5 Solar Tracker.....	15
Gambar 2. 6 Altitude Angle Saat Matahari Siang Hari.....	19
Gambar 2. 7 Sudut Azimuth.....	20
Gambar 2. 8 Interaksi Radiasi Matahari.....	21
Gambar 2. 9 Infrared dan Ultraviolet.....	22
Gambar 2. 10 Pergeseran posisi matahari.....	30
Gambar 3. 1 Solar Panel <i>Monocrystalline</i> 50 WP dan Spesifikasinya.....	32
Gambar 3. 2 Plat Terdapat Bayangan.....	33
Gambar 3. 3 Plat Tidak Terdapat Bayangan.....	33
Gambar 3. 4 Light Meter Terdapat Bayangan.....	34
Gambar 3. 5 Light Meter Tidak Ada Bayangan.....	34
Gambar 3. 6 Cara Pengukuran Sudut Menggunakan Klinometer.....	35
Gambar 3. 7 Diagram Blok <i>Photovoltaic</i> Yang Diubah Sudutnya.....	35
Gambar 3. 8 Diagram Blok <i>Photovoltaic</i> Yang Tetap Sudutnya.....	35
Gambar 3. 9 Diagram Alur Penelitian (<i>Flowchart</i>).....	36
Gambar 3. 10 Rangkaian Close Loop Panel Surya.....	37
Gambar 3. 11 Pengujian Kalibrasi 2 Solar Panel (Tetap dan Diubah).....	38
Gambar 3. 12 Pengujian Panel Surya Sudut Diubah.....	39
Gambar 3. 13 Pengujian Panel Surya Sudut Tetap.....	40
Gambar 4. 1 Grafik Waktu Terhadap Sudut.....	43
Gambar 4. 2 Grafik Sudut Terhadap Output Pada Sudut Tetap.....	46
Gambar 4. 3 Grafik Intensitas Cahaya Terhadap Output Pada Sudut Tetap.....	47
Gambar 4. 4 Grafik Waktu Terhadap Output Pada Sudut Kemiringan Diubah....	49

Gambar 4. 5 Grafik Intensitas Cahaya Terhadap Output Pada Sudut Kemiringan Diubah.....	50
Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut Diubah Terhadap Keluaran Daya	51
Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut Tetap Terhadap Keluaran Daya	52
Gambar 4. 8 Suhu Terhadap Output pada Sudut Diubah.....	54
Gambar 4. 9 Suhu Terhadap Output pada Sudut Tetap	55



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Kalibrasi pada Sudut 90° (tegak lurus).....	41
Tabel 4. 2 Data Sudut Optimal yang Tidak Diubah Pada Panel Surya 50 Wp ...	42
Tabel 4. 3 Data Tegangan, Arus dan Intensitas Cahaya Panel Surya dengan Sudut Tetap.....	45
Tabel 4. 4 Data Tegangan, Arus dan Intensitas Cahaya Panel Surya dengan Sudut Diubah.....	48
Tabel 4. 5 Data Daya Keluaran Panel Surya Tidak Diubah Sudutnya.....	51
Tabel 4. 6 Temperatur Panel Surya Sudut Tetap	54



ABSTRAK

Energi matahari diubah menjadi energi listrik melalui teknologi Photovoltaic. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Teknologi Photovoltaic digunakan untuk menghasilkan listrik dari sinar matahari. Ketika sel surya terkena sinar matahari, energi cahaya diserap oleh bahan semikonduktor dalam sel tersebut, melepaskan elektron dan menghasilkan aliran listrik. Di Indonesia, PLTS memiliki potensi besar karena sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun.

Penelitian ini mengkaji tentang cara mengoptimalkan sudut dan output dari panel surya dengan menggunakan dua jenis panel surya yang berbeda. Panel surya yang pertama memiliki sudut tetap pada 90° , sementara panel surya kedua berubah sudutnya antara 0° hingga 180°

Sudut kemiringan panel surya berpengaruh terhadap output daya, tegangan, dan arus yang dihasilkan. Sudut optimal terjadi pada rentang waktu pukul 9.30 hingga 13.00 WIB, dengan sudut kemiringan panel antara 57° hingga 99° . Penggunaan panel surya yang dapat menyesuaikan posisi dengan pergerakan matahari lebih efektif dalam menghasilkan daya yang optimal dibandingkan dengan panel sudut tetap. Suhu panel surya juga mempengaruhi tegangan keluaran, dengan suhu rendah menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Intensitas cahaya matahari dan perubahan sudut panel surya juga berpengaruh pada output listrik yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, sudut panel surya yang diubah menunjukkan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan panel sudut tetap. Variasi sudut panel surya memungkinkan penyerapan cahaya matahari yang optimal dalam berbagai kondisi sinar matahari.

Kata kunci : Panel surya, Photovoltaic, Sudut Kemiringan, Sudut Optimal, Output

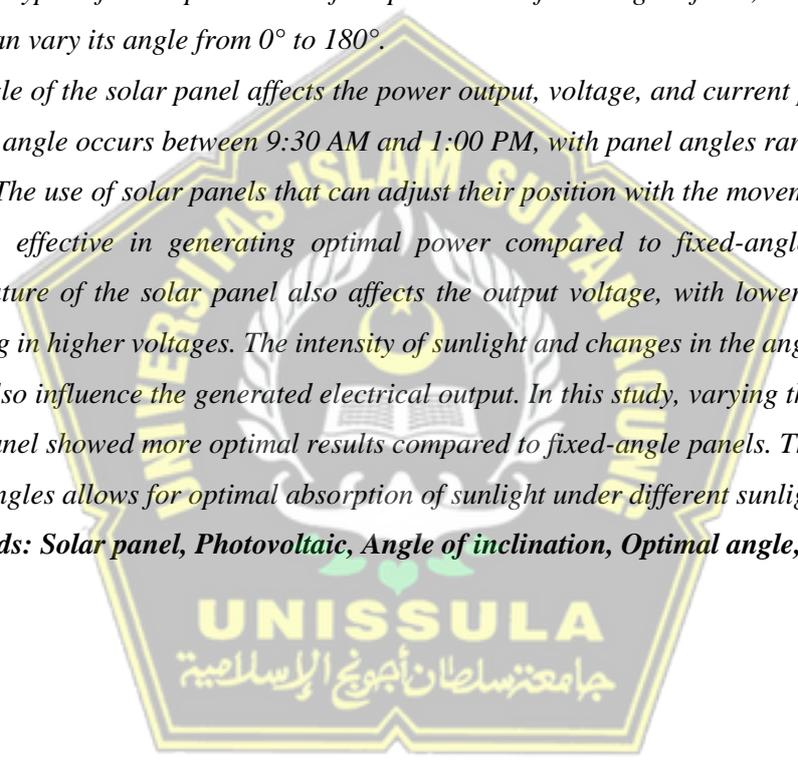
ABSTRACT

Solar energy is converted into electrical energy through Photovoltaic technology. Solar Power Plants (PLTS) are renewable energy sources that convert solar energy into electricity. Photovoltaic technology is used to generate electricity from sunlight. When solar cells are exposed to sunlight, the semiconductor material in the cells absorbs the light energy, releases electrons, and generates an electrical current. In Indonesia, PLTS has great potential due to abundant sunlight throughout the year.

This study examines how to optimize the angle and output of solar panels using two different types of solar panels. The first panel has a fixed angle of 90°, while the second panel can vary its angle from 0° to 180°.

The angle of the solar panel affects the power output, voltage, and current produced. The optimal angle occurs between 9:30 AM and 1:00 PM, with panel angles ranging from 57° to 99°. The use of solar panels that can adjust their position with the movement of the sun is more effective in generating optimal power compared to fixed-angle panels. The temperature of the solar panel also affects the output voltage, with lower temperatures resulting in higher voltages. The intensity of sunlight and changes in the angle of the solar panel also influence the generated electrical output. In this study, varying the angle of the solar panel showed more optimal results compared to fixed-angle panels. The variation in panel angles allows for optimal absorption of sunlight under different sunlight conditions.

Keywords: *Solar panel, Photovoltaic, Angle of inclination, Optimal angle, Output*



UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Energi matahari akan langsung diubah menjadi energi listrik melalui efek *Photovoltaic*. Oleh karena itu, teknologi *Photovoltaic* umumnya digunakan untuk menghasilkan listrik dari sinar matahari, bukan untuk mengubah energi panas menjadi listrik. Teknologi *Photovoltaic* memanfaatkan efek *Photovoltaic*, yaitu kemampuan bahan, seperti semikonduktor, untuk menghasilkan aliran listrik ketika terpapar sinar matahari. Ketika sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor terkena sinar matahari, energi cahaya matahari diserap oleh bahan tersebut dan elektron dalam bahan tersebut dilepaskan. Medan listrik internal dalam sel *Photovoltaic* mendorong elektron yang terlepas untuk bergerak, menghasilkan aliran listrik.

Sistem *Photovoltaic* atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau (PLTS) merupakan salah satu dari beberapa energi terbarukan yang mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. PLTS merupakan salah satu dalam memanfaatkan sumber energi listrik yang ramah terhadap lingkungan karena energi ini tidak menggunakan fosil dalam memenuhi kebutuhan energi masyarakat sehari-hari.

Indonesia terletak di garis khatulistiwa dan menerima banyak sinar matahari sepanjang tahun. Tenaga surya merupakan sumber energi terbarukan yang potensial dan dapat diakses di seluruh wilayah Republik Indonesia. Pemerintah dan pengembang saat ini terlibat aktif dalam pembangunan PLTS, tetapi karena dampak pembangunan terutama pada lingkungan sekitar, kehati-hatian harus dilakukan untuk mencegah gangguan yang mungkin berkontribusi terhadap perubahan iklim.

Perangkat semikonduktor yang disebut *Photovoltaic*, yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik, memiliki luas permukaan yang luas dan didalamnya terdiri dari sejumlah dioda tipe-p dan tipe-n. Kata-kata "*Photovoltaic*" dan "*voltaik*," keduanya berasal dari kata Yunani masing-masing berarti cahaya dan tegangan. Dalam terminologi *Photovoltaic*, cahaya dan listrik didefinisikan sebagai cahaya dan listrik. Sekitar 9-12% radiasi matahari diubah menjadi listrik oleh sel

Photovoltaic. Namun, lebih dari 80% dari radiasi matahari tidak dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik, karena sebagian besar dipantulkan atau diubah menjadi energi panas. Ini menyebabkan peningkatan suhu sel *Photovoltaic* dan mengurangi efisiensi konversi energi listrik yang dapat dihasilkan [1]

Untuk menentukan sudut kemiringan atau posisi yang optimal guna dapat menghasilkan nilai output daya, tegangan dan arus secara optimal. Penelitian ini akan membahas tentang pengaruh sudut kemiringan solar panel (*Photovoltaic*) monocrystalline 50 wp terhadap optimalisasi output daya. Diharapkan melalui serangkaian pengujian ini, didapatkan hasil yang optimal, efektif dan efisien

Pada penelitian ini yaitu menganalisa tentang solar panel (*Photovoltaic*) monocrystalline 50 wp terhadap optimalisasi output daya. Berdasarkan judul tugas akhir ini menggunakan *Photovoltaic* dengan type monocrystalline 50 WP, dikarenakan dari segi fungsional type monocrystalline lebih efisien daripada type polycrystalline. Efisiensi panel monocrystalline bernilai sebesar 15-20% serta dapat bekerja dengan lebih efisien pada suhu tinggi dan kondisi matahari yang teduh.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, perumusan masalah yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Berapa sudut kemiringan optimalisasi pada panel surya monocrystalline 50 wp ?
2. Berapa nilai output daya yang dihasilkan dari panel surya monocrystalline 50 wp yang terdiri dari panel yang sudutnya tetap dan panel yang diubah sudutnya ?
3. Berapa nilai output tegangan, arus dan suhu yang dihasilkan dari panel surya monocrystalline 50 wp yang terdiri dari panel yang sudutnya tetap dan panel yang diubah sudutnya ?
4. Bagaimanakah perbandingan optimalisasi keluaran panel yang diubah sudutnya dengan panel yang sudutnya tetap ?

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibahas sebelumnya, didapatkan batasan-batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh sudut kemiringan dengan tipe solar panel yang digunakan adalah *monocrystalline* 50 wp (835mm x 540mm x 28mm)
2. Percobaan ini dilakukan 18 kali percobaan, dengan interval 30 menit
3. Pengambilan data dilakukan pada pukul 07.30 – 16.00 WIB dalam keadaan cuaca panas
4. Menggunakan dua buah solar sel diantaranya yaitu panel yang tegak lurus terhadap permukaan tanah (menghadap keatas) dan panel yang diubah sudutnya mengikuti arah matahari
5. Pengukuran dilakukan di panel surya dengan load 50% (kapasitas daya maksimum yaitu 50)
6. Tidak membahas mengenai suhu lingkungan

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui output tegangan dan arus (rill) dari panel surya *monocrystalline* 50 wp yang terdiri dari panel yang sudutnya tetap dan panel yang diubah sudutnya.
2. Untuk mengetahui daya dari panel surya *monocrystalline* 50 wp yang terdiri dari panel yang sudutnya tetap dan panel yang diubah sudutnya.
3. Untuk mengetahui sudut optimalisasi panel surya *monocrystalline* 50 wp berdasarkan perubahan sudut kemiringan panel.

1.5 Manfaat

Dalam penelitian ini, diharapkan mendapatkan manfaat berupa optimalisasi sudut datang sinar matahari ke solar panel untuk menghasilkan energi listrik secara maksimal. Selain itu, juga diharapkan untuk membandingkan bagaimana perubahan sudut kemiringan mempengaruhi nilai daya, arus, dan tegangan keluaran dari *Photovoltaic monocrystalline* 50 wp.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri dari 5 bagian yang masing-masing terdiri dari:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini mencakup beberapa aspek, yaitu latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan akhir, manfaat tugas akhir serta sistematika penulisan laporan.

BAB II : TINJUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berfokus pada tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi pendukung dalam pembuatan tugas akhir, serta mengenai prinsip dasar tentang solar panel.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Secara rinci, bagian ini akan menguraikan metode penelitian, termasuk pengujian pengaruh posisi/sudut matahari terhadap keluaran panel surya, data penelitian yang didapatkan dalam penelitian dan flowchart yang digunakan untuk menggambarkan alur penelitian tersebut

BAB IV : HASIL DAN ANALISIS

Bab ini mengulas analisis dan hasil penelitian serta melakukan perbandingan untuk menemukan hasil yang sesuai dengan daya maksimal dan sudut yang optimal.

BAB V : PENUTUP

Bab ini akan membahas kesimpulan dan saran dari pengujian yang telah dilakukan, serta melakukan analisis lebih lanjut terhadap topik yang dibahas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini tidak lepas dari referensi dan digunakan sebagai pembandingan dari penelitian sebelumnya, berikut beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki judul atau topik yang sama :

- a. Penelitian yang berjudul Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya (PV) terhadap Daya Keluaran disusun oleh Abdul Kodir Albahar dan Muhammad Faizal Haqi Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mencapai hasil keluaran yang optimal melalui pengukuran kemiringan *Photovoltaic* pada sudut dan waktu yang telah ditetapkan. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa pengaturan sudut kemiringan PV memiliki dampak pada intensitas cahaya maksimum yang dapat diserap oleh sel surya. Ditemukan bahwa sudut kemiringan panel surya sebesar 15° menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar, mencapai daya maksimal sebesar 122,4 watt pada pukul 12.00. Oleh karena itu, sudut 15° ini merupakan sudut yang optimal untuk memastikan panel surya bekerja dengan efisiensi maksimal. [2]
- b. Penelitian berjudul Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada *Photovoltaic* Dengan Menggunakan Regression Quadratic Method yang disusun oleh Samsurizal , Andi Makkulau , Christiono Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak perubahan sudut kemiringan pada *Photovoltaic* terhadap peningkatan arus keluaran, dengan menggunakan metode regresi kuadrat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sudut kemiringan PV yang menghasilkan arus keluaran panel sel surya tertinggi adalah pada sudut 30° , 35° , dan 40° . Namun, dengan menggunakan metode regresi kuadrat, ditemukan bahwa sudut optimum untuk peletakan panel surya dalam menerima paparan radiasi sinar matahari adalah sekitar 36.7° . Penelitian ini melibatkan penggunaan metode regresi kuadrat polinomial dengan bantuan perangkat lunak Excel sebagai alat bantu dalam analisis. Hasil perbandingan antara pengukuran real dengan metode regresi kuadrat menunjukkan nilai RMSE (root mean square error) sebesar 0.27476 dengan tingkat keakuratan sebesar

1.13%. Nilai RMSE yang rendah menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh model prakiraan cenderung mendekati variasi nilai observasi secara akurat. [3]

- c. Penelitian berjudul *Pemodelan Dan Prediksi Daya Output Photovoltaic Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler* yang disusun oleh Eka Prasetyono, Ragil Wigas, Wicaksana, Novie A Windarko, Moh. Zaenal Efendi. Penelitian ini bertujuan untuk membantu dalam memprediksi daya listrik yang seharusnya dihasilkan oleh panel surya (PV). Hasil penelitian dalam jurnal ini menunjukkan bahwa prediksi daya untuk periode waktu antara 08.40 hingga 14.00 memiliki akurasi yang tinggi terhadap hasil pengukuran PV, dengan rata-rata kesalahan sebesar 4.72%. Namun, pada pagi hari dari waktu matahari terbit hingga pukul 08.40, prediksinya memiliki rata-rata kesalahan sebesar 29.89%. Sementara itu, pada sore hari dari pukul 14.00 hingga matahari terbenam, prediksi daya PV memiliki selisih yang signifikan dengan rata-rata kesalahan sebesar 15.40%. Penelitian ini menekankan bahwa kesalahan dalam posisi kemiringan panel surya akan menyebabkan penurunan daya PV yang cukup signifikan. Besar kecilnya penurunan daya ini dipengaruhi oleh kesalahan kemiringan PV, dan nilainya akan selalu berubah-ubah seiring dengan perubahan sudut deklinasi matahari yang terjadi setiap hari sepanjang tahun.[4]
- d. Penelitian berjudul *Analisis Efisiensi Keluaran Daya Solar Sel Berdasarkan Sudut Kemiringan* yang disusun oleh Sri Kurniati dan Sudirman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi penggunaan panel surya (solar sel) yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik berdasarkan sudut kemiringan. Tingkat intensitas cahaya matahari memiliki pengaruh terhadap keluaran tegangan dari solar sel yang digunakan untuk mengisi aki dengan bantuan kontrol otomatis. Pada modul dengan kemiringan antara 5° hingga 20° , daya yang diserap oleh beban dapat bertahan lebih lama dibandingkan dengan modul yang memiliki kemiringan lainnya. Hal ini terjadi karena modul dengan sudut kemiringan tersebut hanya dapat menyerap sinar matahari pada siang hari, terutama antara pukul 11.00 hingga 12.00. Sebaliknya, pada pagi hari, sinar matahari tidak langsung mengenai permukaan modul solar sel, sehingga beban

hanya terisi ketika matahari berada tepat di atas permukaan modul pada jam-jam tersebut. [5]

- e. Penelitian berjudul Analisis Efek Kemiringan Pemasangan Terhadap Luaran Daya Rangkaian Panel Surya yang disusun oleh Arif Kurniawan, Yosta Yoserizal, Firnanda Al Islama Achyuda Putra Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengumpulkan data tegangan keluaran dari panel surya pada setiap perubahan posisi matahari. Kemiringan sudut pemasangan panel surya memiliki dampak signifikan terhadap tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan. Akibatnya, daya keluaran dari panel surya juga terpengaruh oleh sudut kemiringan tersebut. Pemasangan panel surya dengan sudut 0° dan 90° akan memiliki pengaruh yang berbeda terhadap keluaran tegangan dan arus. Pada sudut 0° dan 90° , panel surya tidak akan menerima sinar matahari secara langsung. Panel surya hanya akan menerima cahaya yang dipantulkan dari sekitar lingkungannya, bukan sinar matahari langsung. Meskipun pada sudut 0° dan 90° daya keluaran masih ada, namun tidak mencapai nilai maksimal. Semakin besar deviasi sudut dari sudut 0° , maka daya keluaran yang dihasilkan akan semakin menurun. Waktu terpaparnya panel surya juga berpengaruh terhadap tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan. Sehingga, lamanya panel surya terkena sinar matahari akan mempengaruhi keluaran daya yang dihasilkan. [6]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya atau (PLTS) yang menggunakan *Photovoltaic* mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. PLTS menggunakan panel surya untuk menyerap radiasi foton dari matahari dan menghasilkan arus listrik melalui efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik terjadi di dalam sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon. Pada prinsipnya, sel surya menggunakan teori cahaya sebagai partikel, yaitu foton. Cahaya, baik yang terlihat maupun yang tidak terlihat, memiliki sifat ganda sebagai gelombang dan partikel. [7]. Ketika foton cahaya yang memiliki energi cukup besar mengenai sel surya, mereka dapat mengionisasi elektron dalam bahan

semikonduktor, menciptakan pasangan elektron-holes (celah kosong) di dalam sel surya. Elektron dan holes kemudian bergerak dalam medan listrik internal dalam sel surya, menghasilkan aliran arus listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik.

Dengan menggunakan efek fotovoltaiik ini, PLTS mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik yang dapat dipakai untuk memenuhi berbagai kebutuhan listrik dalam berbagai aplikasi, mulai dari rumah tangga hingga skala industri. Konsep ini pertama kali dikemukakan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh cahaya dengan panjang gelombang λ dan frekuensi foton dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E = h \frac{c}{\lambda} \dots \dots \dots (2.1)$$

Jika h adalah konstanta Planck ($6,62 \times 10^{-34}$ J.s) dan c adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s). Persamaan di atas juga menyiratkan bahwa *foton* dapat dianggap sebagai partikel energi atau gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu. Dengan menggunakan perangkat semikonduktor berukuran besar yang terdiri dari dioda tipe-p dan tipe-n, cahaya yang datang dapat diubah menjadi energi listrik. [8]

Lapisan tipis dari bahan semikonduktor tipe silikon murni (Si) dan bahan semikonduktor lainnya digunakan untuk membentuk sel surya (*Photovoltaic*). Ketika sel surya ini menerima energi foton dari sinar matahari, substansi sel surya ini akan merangsang elektron dari ikatannya, sehingga elektron tersebut dapat bergerak bebas. Sebagai hasilnya, sel surya akan menghasilkan tegangan arus searah (DC) dari energi yang diterima dari sinar matahari [7]

Ada beberapa jenis sistem PLTS, termasuk sistem yang menggunakan radiasi matahari secara independen tanpa terhubung ke jaringan listrik nasional (PLN), yang sering disebut sebagai sistem off-grid. Selain itu, ada sistem pembangkit listrik yang menggunakan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik yang terhubung ke jaringan PLN, yang dikenal sebagai sistem on-grid. Meskipun Sistem Tenaga Surya Terdistribusi (SHS), yang merupakan sistem rumah tangga dengan biaya rendah dan desain yang sederhana, umum digunakan, terdapat juga PLTS hybrid yang menggabungkan sumber energi lain seperti angin atau

matahari. PLTS hybrid bertujuan untuk mencapai daya yang lebih besar dan memenuhi kebutuhan konsumsi energi yang tinggi.[9]

2.2.2 Modul *Photovoltaic*



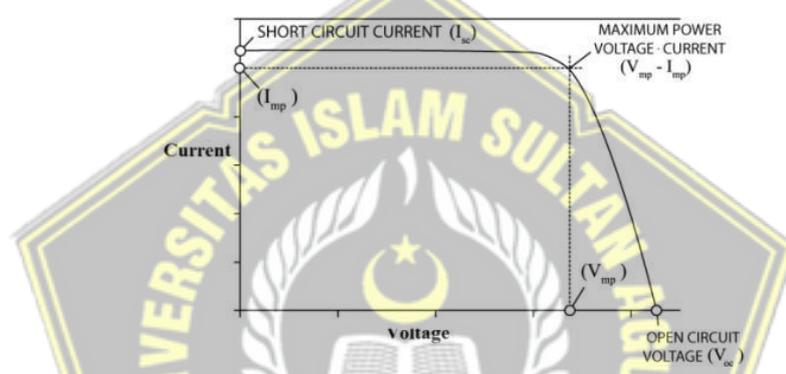
Gambar 2. 1 Modul *Photovoltaic*

Panel *Photovoltaic* terdiri dari serangkaian sel surya yang disusun dan dihubungkan secara seri. Untuk melindungi sel-sel tersebut dari kerusakan akibat kekuatan mekanik dan lingkungan, sel surya tersebut dikelompokkan dengan menggunakan penghubung busbar yang dilindungi oleh lapisan pelindung atau bahan enkapsulasi. [7] Performa kelistrikan modul dapat dikarakterisasi dengan menggunakan kurva arus-tegangan (I-V) yang membahas hubungan antara tegangan dan arus listrik modul *Photovoltaic* di bawah radiasi matahari dan suhu tertentu. [10]

Komponen utama dari PLTS adalah modul *Photovoltaic*, dan kualitas yang baik dari modul *Photovoltaic* sangat penting untuk menjaga kinerja dan operasional system [7]. Kurva arus-tegangan tersebut menggambarkan proses tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh modul *Photovoltaic* dalam kondisi tertentu dari radiasi matahari dan suhu. Modul surya mencapai arus listrik maksimum Ketika rangkaian tidak memiliki komponen resistif (R), yang berarti pada saat terjadi arus hubung singkat (I_{sc}) ketika tegangan modul surya berada pada nilai nol ($V=0$). Pada kondisi ini, ketika hambatan R sangat tinggi dan tidak ada arus yang mengalir karena rangkaian listrik terbuka, tegangan modul surya mencapai nilai tertinggi yang disebut sebagai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}).

Untuk berbagai kondisi beban resistif, dari resistansi ekstrim hingga kondisi di antara keduanya, kurva tersebut menunjukkan hubungan antara arus (I) yang

diukur dalam ampere pada sumbu Y, dan tegangan (V) yang diukur pada sumbu X. Seperti yang terlihat dalam gambar, arus hubung singkat (I_{sc}) terjadi ketika tegangan berada pada nilai nol, sementara tegangan hubung terbuka (V_{oc}) terjadi ketika arus listrik mencapai nol. Daya (watt) diperoleh dengan mengalikan nilai tegangan dan arus listrik ($watt = volt \times ampere$). Pada titik I_{sc} , pada titik I_{sc} , daya yang dihasilkan adalah nol karena nilai tegangan juga nol. Daya maksimum dari modul *Photovoltaic*, yang biasanya disebut sebagai daya puncak dan dilambangkan sebagai mp, terjadi pada titik I_{mp} ketika arus listrik mencapai nilai maksimum dan tegangan juga mencapai nilai tertentu (V_{mp}). [10]

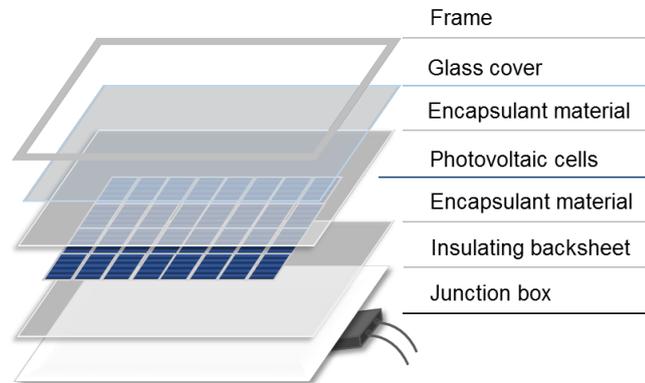


Gambar 2. 2 Kurva Arus-Tegangan (I-V) Modul Surya

Grafik arus-tegangan dari setiap modul surya harus didesain dengan mempertimbangkan kondisi intensitas sinar matahari dan suhu modul surya yang konstan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh intensitas sinar matahari dan suhu pada keluaran modul surya. Intensitas sinar matahari yang jatuh pada permukaan modul surya mempengaruhi daya yang dihasilkan, dimana semakin tinggi intensitas sinar matahari, semakin besar arus listrik yang dihasilkan. Namun, suhu modul surya memiliki efek yang berkebalikan pada tegangan keluaran yang dihasilkan. Ketika suhu modul surya meningkat, tegangan keluaran akan menurun

Kurva I-V standar modul surya dibuat dengan menggunakan daya cahaya sebesar 1000 W/m^2 dan suhu sekitar 25°C . Kurva ini memberikan gambaran tentang hubungan antara arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh modul surya pada kondisi tersebut. [10]

2.2.3 Struktur Fisik Modul *Photovoltaic*



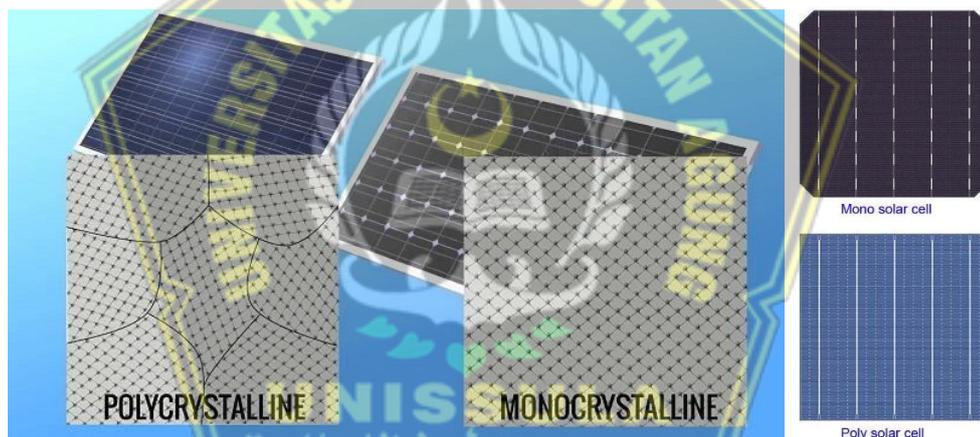
Gambar 2. 3 Struktur Fisik Modul *Photovoltaic*

1. Bingkai atau rangka biasanya terbuat dari bahan aluminium yang telah mengalami proses anodizing untuk mencegah korosi. Bingkai dipasang pada tahap akhir pembuatan modul *Photovoltaic* dan berfungsi untuk memberikan kekokohan pada panel.
2. Kaca pelindung memiliki fungsi untuk melindungi sel *Photovoltaic* dari pengaruh lingkungan dan menjaga kestabilan panel. Proporsi berat tertinggi dalam modul *Photovoltaic* didedikasikan untuk kaca pelindung.
3. Proses enkapsulasi atau laminasi terjadi penempelan lapisan antara sel *Photovoltaic* dan kaca pelindung. Tujuan dari laminasi adalah untuk mencegah kerusakan mekanis pada sel *Photovoltaic* dan mengisolasi tegangan yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dari bagian lain modul. Bahan yang sering digunakan dalam proses laminasi adalah *ethylene-vinyl acetate* (EVA).
4. Sel *Photovoltaic* menjadi komponen utama dalam modul *Photovoltaic*. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang berfungsi untuk menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi, sel-sel dihubungkan secara seri melalui kawat/penghubung busbar. Bahan yang digunakan untuk pembuatan sel *Photovoltaic* adalah silikon, termasuk polycrystalline dan monocrystalline.
5. Lembar insulasi (backsheet) terbuat dari bahan plastik dan bertujuan untuk melindungi serta mengisolasi sel-sel *Photovoltaic* dari kelembaban dan kondisi cuaca.

6. Kotak penghubung (junction box) berperan sebagai terminal yang menghubungkan rangkaian sel-sel *Photovoltaic* dengan beban atau panel lainnya. Kotak penghubung ini memuat kawat/penghubung busbar yang menghubungkan sel-sel *Photovoltaic* secara seri atau parallel, juga termasuk kabel dan dioda *bypass*[7]

2.2.3.1 Jenis-jenis *Photovoltaic*

Berdasarkan jenisnya terdapat tiga macam bahan Silicon penyusunnya, yaitu *Amorphous Silicon* (silicon jenis ini memiliki warna hitam dan sedikit gelap. Umumnya jenis silicon ini digunakan pada perangkat yang memerlukan daya listrik rendah, seperti kalkulator. Efisiensi dari jenis bahan ini dianggap paling rendah dibandingkan dua jenis bahan lainnya, yaitu sekitar 3-5%), *Polycrystalline Silicon*, dan *Monocrystalline Silicon*.



Gambar 2. 4 *Monocrystalline* Dan *Polycrystalline*

1. *Polycrystalline PV*

Polycrystalline Silicon, umumnya dikenal sebagai *polysilicon* atau Poly-Si, *polysilicon* memiliki kemurniannya yang tinggi dan kemampuannya untuk mengkristal menjadi *Polycrystalline Silicon* serta digunakan sebagai bahan baku oleh industri PV. *Polysilicon* ini dibuat menggunakan metode pemurnian kimia (Siemens) dari silikon kelas metalurgi. Dalam prosedur ini, senyawa *silikon* yang mudah menguap disuling (distilasi), dan suhu tinggi menyebabkannya terurai menjadi *silicon*. *Reactor fluidized bed reactor* digunakan dalam proses pemurnian atau penyempurnaan. Metalurgi digunakan di sektor industri PV untuk membuat *silicon upgraded metallurgical-grad* (UMG-SI) yang

ditingkatkan sebagai pengganti prosedur pemurnian kimia. Tidak seperti panel surya berbasis monocrystalline, panel surya polycrystalline tidak membutuhkan proses Czochralski.[11]

Polysilicon biasanya digunakan dalam komponen PV skala besar atau berpotensi tinggi, paling sering digunakan sebagai bahan material gate dalam perangkat semikonduktor seperti MOSFET. Karena penggunaan silikon secara luas, toksisitas rendah, dan biaya polisilikon yang relatif murah untuk single. *Polycrystalline* memiliki efisiensi 13-15% [11]

2. *Monocrystalline PV*

Monocrystalline Silicon atau biasanya disebut dengan *single-crystal-silicon* (*Mono c-Si* atau *Mono-Si*) merupakan bahan dasar untuk Silikon tipis yang digunakan hampir di semua peralatan elektronik saat ini. *Mono-Si* juga bisa difungsikan sebagai PV, bahan penyerap cahaya dalam pembuatan sel surya. *Monocrystalline Silikon* dari Silicon dimana kristal *lattice* dari seluruh zat yang padat secara kontinyu, tidak terputus pada ujungnya, dan bebas dari batas butir. [11]

Silicon monocrystalline berbeda dari bentuk silikon yang lain seperti *silicon amorf non-crystalline* yang digunakan dalam sel surya *Thin-film* dan *silicon polycrystalline* yang terdiri dari kristal kecil atau biasa disebut kristalit. Panel surya *monokristal* dihasilkan dari struktur kristal tunggal silikon yang dikenal sebagai "ingot". Panel-panel ini memiliki warna yang konsisten dan memiliki aspek estetika. Pembuatan panel surya monokristal melibatkan metode *Czochralski* (*silicon* mentah dilebur dan dituangkan ke dalam cetakan persegi, yang didinginkan dan dipotong menjadi wafer persegi.), di mana benih kristal silikon ditempatkan dalam cairan silikon. Kemudian, benih tersebut perlahan disusun oleh silikon cair sehingga membentuk struktur kristal padat di sekitarnya, yang disebut "ingot". Ingot ini, yang terdiri dari silikon kristal padat, kemudian diiris dengan halus menjadi lembaran silikon yang dikenal sebagai "wafer". Wafer silikon ini selanjutnya diproses menjadi sel-sel surya[11]

Penggunaan *Photovoltaic* yang dipasang di atap (*rooftop solar*) ataupun di atas tanah (*ground mounted*) yang didorong oleh ketersediaan sumber daya,

kemajuan *teknologi* yang lebih efektif, akses yang lebih mudah ke produk *Photovoltaic*, dan penurunan biaya pembangkit energi surya *Photovoltaic*, berkembang di mana-mana dan meningkat secara global, bahkan di Indonesia. *Monocrystalline* memiliki efisiensi 15-25%. [11]

2.2.4 Solar Tracking System

Tracker matahari adalah perangkat yang dirancang untuk mengarahkan panel surya atau modul fotovoltaik ke arah matahari sepanjang hari. Tujuannya adalah untuk memaksimalkan paparan sinar matahari pada panel surya, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik. Pergerakan panel surya yang terus-menerus mengikuti perjalanan matahari memungkinkan panel untuk tetap berada pada sudut insiden yang optimal sepanjang waktu.

Terdapat beberapa jenis tracker matahari, termasuk tracker satu sumbu (*single-axis*) dan tracker dua sumbu (*dual-axis*). Tracker satu sumbu menggerakkan panel hanya pada satu sumbu, yaitu sumbu horizontal atau vertikal, sedangkan tracker dua sumbu menggerakkan panel pada kedua sumbu tersebut. Penggunaan tracker matahari dapat mengatasi masalah perubahan sudut insiden sinar matahari seiring dengan pergerakan matahari sepanjang hari dan musim, yang pada gilirannya meningkatkan produksi energi listrik.[12]

Keluaran utama panel surya secara signifikan dipengaruhi oleh sudut cosinus insiden, yang mengacu pada sudut antara sinar matahari dan permukaan horizontal. Sudut insiden terkecil menghasilkan daya maksimum. Pada panel tetap, kecuali saat tengah hari, sudut maksimum terjadi untuk pergerakan matahari. Solusi yang efisien adalah menggunakan solar tracker yang dapat mengatasi masalah ini. Tracker matahari pertama kali diperkenalkan oleh Finster pada tahun 1962 dan memiliki sifat mekanis. Setahun kemudian, Saavedra memperkenalkan mekanisme dengan kontrol elektronik otomatis, yang digunakan untuk mengarahkan *pyrheliometer*. Studi oleh Anusha, Chandra, dan Reddy (2013)[13] membandingkan antara panel fotovoltaik (PV) tetap dan pelacakan matahari sumbu tunggal berdasarkan jam waktu nyata menggunakan prosesor ARM. Percobaan dilakukan selama 6 hari dengan menggunakan kedua sistem

tetap dan pelacakan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem pelacakan matahari meningkatkan efisiensi sekitar 40%, dan jumlah energi yang diterima dari matahari meningkat dari pukul 9.00 pagi hingga pukul 6.00 sore.



Gambar 2. 5 Solar Tracker

2.2.5 Pengaruh Iradiasi Terhadap Panel Surya

Fluktuasi menghasilkan listrik dari (PLTS) dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu radiasi matahari, suhu modul surya, dan keberadaan naungan selama operasi. Radiasi matahari memiliki pengaruh langsung terhadap arus listrik yang dihasilkan oleh PLTS. Intensitas sinar matahari yang diterima oleh PLTS secara proporsional mempengaruhi besar kecilnya arus listrik yang dihasilkan. Dengan kata lain semakin tinggi intensitas sinar matahari yang diterima, maka semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan oleh PLTS. Selanjutnya, suhu modul surya mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh PLTS. Ketika suhu modul surya meningkat, tegangan keluaran PLTS cenderung menurun. Oleh karena itu, suhu yang tinggi dapat mengurangi efisiensi konversi energi dari sinar matahari menjadi energi listrik.

Selain itu, keberadaan naungan juga memainkan peran penting dalam kinerja PLTS. Naungan pada modul surya dapat mengurangi radiasi matahari yang diterima oleh sel-sel *Photovoltaic*, sehingga mengurangi produksi listrik dari PLTS secara keseluruhan. Naungan dapat disebabkan oleh bangunan, pepohonan, atau objek lain yang menghalangi sinar matahari mencapai modul surya. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, radiasi matahari yang cukup tinggi, suhu

modul surya yang optimal, dan minimnya naungan akan berkontribusi pada peningkatan kinerja dan produksi listrik yang lebih stabil dari PLTS. [8]

Pertama, iklim yang disebabkan oleh matahari bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lain, dan prediksi cuaca tidak selalu akurat. Selain itu, faktor-faktor seperti naungan yang tidak diketahui, kelebihan panas, dan ketersediaan infrastruktur dapat mempengaruhi pengukuran energi yang sebenarnya. Meskipun demikian, standar efisiensi yang telah dikembangkan dari waktu ke waktu sering digunakan untuk memperkirakan daya output PLTS dalam periode tahunan atau bulanan. Persentase efisiensi ini didasarkan pada energi yang diserap selama fotosintesis oleh tanaman, energi matahari menjadi sumber utama bagi batu bara dan minyak (bahan bakar fosil) yang terbentuk melalui proses fotosintesis selama jutaan tahun. Saat ini, batu bara dan minyak banyak digunakan sebagai bahan bakar, namun juga digunakan dalam penelitian untuk menciptakan plastik, cetakan, dan bahan sintetis lainnya.[8]

Energi surya dapat digunakan secara efektif melalui penggunaan sel surya (photocell), yang menawarkan potensi sebagai sumber listrik yang bersih. Keunggulan sel surya adalah kemampuannya menghasilkan listrik tanpa polusi, portabilitasnya yang tinggi, serta kemampuannya untuk mendekati beban listrik, sehingga memudahkan distribusi energi.

Pada cuaca yang cerah, sel surya mampu menghasilkan tegangan yang tetap antara 0,5 V hingga 0,7 V, dengan arus sekitar 20 mA. Jika tingkat radiasi matahari yang mencapai bumi adalah sekitar 1000 W/m^2 atau setara dengan 100 mW/cm^2 , maka potensi energi yang dihasilkan oleh sel surya dengan luas permukaan rata-rata sebesar 1 cm^2 dapat dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil melalui proses fotosintesis. Dalam hal efisiensi dan potensi energi yang dihasilkan, sel surya menjadi pilihan yang menjanjikan untuk menghasilkan listrik secara lebih bersih dan berkelanjutan[7]

2.2.6 Pemodelan Radiasi Pada Permukaan Miring

Dalam mengorientasikan modul fotovoltaik, terdapat dua parameter sudut kunci yang sangat penting yang yakni sudut azimut dan sudut elevasi pada tengah hari. Namun, untuk mendapatkan posisi matahari sepanjang hari, kedua sudut ini

harus dihitung secara berkala. Perhitungan sudut-sudut tersebut dilakukan berdasarkan "waktu matahari". Dalam sistem waktu konvensional, bumi dibagi menjadi beberapa zona waktu. Akibatnya, jam 12 siang di setiap zona waktu tidak selalu sesuai dengan waktu matahari ketika matahari berada pada titik tertingginya di langit. Demikian pula, prinsip yang sama berlaku untuk waktu matahari terbit yang didefinisikan sebagai saat matahari mulai muncul di suatu bagian zona waktu. Karena zona waktu mencakup area yang luas, waktu matahari terbit di suatu zona dapat berbeda dengan "waktu resmi" yang dianggap sebagai waktu matahari terbit.[14]

Pentingnya aturan ini terkait dengan presisi dan keseragaman waktu di seluruh wilayah. Jika tidak ada konvensi waktu, perbedaan waktu antara tempat yang berdekatan dapat menjadi beberapa detik. Namun, waktu matahari berbeda di setiap garis bujur. Oleh karena itu, dalam menghitung posisi matahari, langkah pertama adalah mencari waktu matahari lokal, lalu berdasarkan waktu itu, menghitung sudut elevasi dan azimuth matahari. Melalui pendekatan ini, kita dapat dengan akurat menentukan posisi matahari di berbagai lokasi dan waktu, yang sangat penting dalam menentukan efisiensi dan performa modul fotovoltaik. Dengan memahami cara kerja waktu matahari lokal, kita dapat memaksimalkan potensi energi surya dan merancang sistem yang lebih efisien.

a. Waktu Matahari Lokal (LST) dan Waktu Lokal (LT)

Waktu Matahari Lokal (Local Solar Time) merupakan waktu yang diukur berdasarkan posisi matahari di langit pada lokasi tertentu. Karena Bumi berputar pada sumbunya, maka waktu matahari lokal berbeda di setiap garis bujur. Sementara itu Waktu Lokal (Local Time), di sisi lain, adalah waktu yang berlaku di suatu wilayah atau zona waktu tertentu. Waktu lokal ini sering disesuaikan dengan meridian waktu standar lokal (Local Standard Time Meridian) yang digunakan sebagai patokan dalam wilayah tersebut. Karena perbedaan posisi geografis dan perbedaan waktu dengan meridian standar, berbagai zona waktu dapat memiliki waktu lokal yang berbeda.[14]

Waktu matahari lokal (LST) dapat dihitung menggunakan persamaan ini untuk menyesuaikan waktu lokal (LT).

$$LST = LT \frac{TC}{60} \dots\dots\dots(2.2)$$

b. Meridian Waktu Standar Lokal (LSTM)

Meridian Waktu Standar Lokal (Local Standard Time Meridian) adalah garis meridian khusus yang berfungsi sebagai acuan untuk menentukan waktu lokal standar di suatu wilayah atau zona waktu tertentu. Setiap zona waktu memiliki meridian waktu standar lokal yang digunakan sebagai patokan dalam menentukan perbedaan waktu dengan meridian utama, seperti Meridian Greenwich yang digunakan sebagai acuan untuk menetapkan Waktu Greenwich dan zona waktu lainnya di seluruh dunia. Dengan adanya meridian waktu standar lokal, berbagai wilayah dapat memiliki waktu yang berbeda-beda, bergantung pada lokasi geografisnya terhadap meridian waktu standar tersebut.[14]

Perhitungan LSTM dilakukan menggunakan suatu persamaan tertentu:

$$LSTM = 15^\circ \cdot \Delta T_{GMT} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan ΔT_{GMT} adalah perbedaan waktu lokal (LT) dari Waktu Greenwich (GMT) yang diukur dalam jam. Dalam satuan derajat, d merupakan jumlah hari sejak awal tahun. Faktor koreksi waktu (EoT)

c. Deklinasi

Sudut deklinasi telah diberikan sebagai:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \sin \left[\frac{360}{365} (d - 81) \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

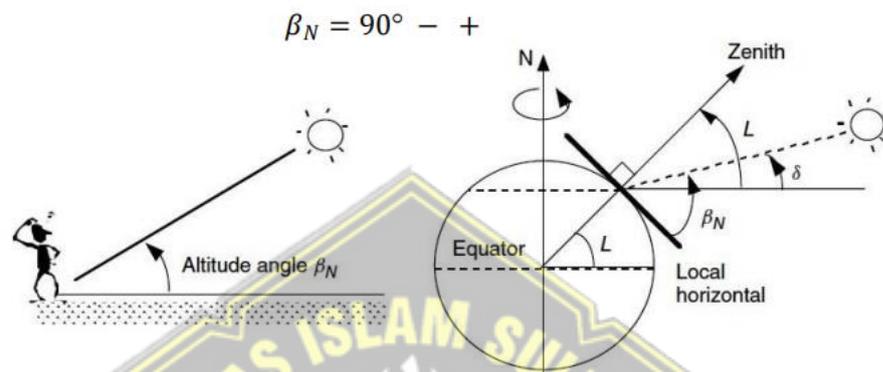
dengan d sebagai jumlah hari sejak permulaan tahun.

dengan: φ sebagai derajat lintang

d. Sudut Altitude (β_N)

Pada saat tengah hari, matahari mencapai titik paling atasnya, yang memiliki pentingnya dalam hampir semua perhitungan yang berkaitan dengan posisi matahari. Secara umum, panel surya diatur menghadap khatulistiwa; di belahan utara Bumi, panel dihadapkan ke selatan, dan di belahan selatan Bumi, panel menghadap ke utara. Pendekatan lain adalah dengan memiringkan panel surya pada sudut tertentu yang sama dengan garis lintang lokasi, metode ini digunakan untuk memaksimalkan paparan radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya. Garis yang menghubungkan Bumi dan Matahari, seperti yang terlihat

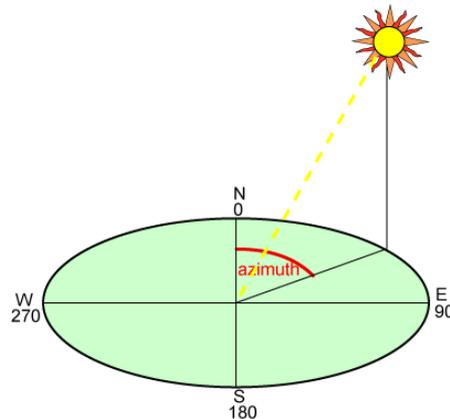
dalam gambar di bawah, dapat membantu dalam menentukan sudut matahari, yang disebut sebagai sudut ketinggian (altitude angle, β_N). Sudut antara garis ini dan khatulistiwa lokal terletak langsung di bawah matahari, dan dari gambar tersebut dapat dinyatakan bahwa hubungan antara sudut ketinggian dan sudut deklinasi matahari, di mana L merupakan garis lintang lokasi.[15]



Gambar 2. 6 Altitude Angle Saat Matahari Siang Hari

e. Sudut Azimuth

Sudut azimuth adalah arah mata angin dari mana cahaya matahari datang. Pada tengah hari, matahari selalu berada tepat di selatan di belahan bumi bagian utara dan tepat di utara di belahan bumi bagian selatan. Sudut azimuth berubah sepanjang hari sebagaimana ditunjukkan pada animasi di bawah. Pada saat ekuinoks, matahari terbit tepat dari timur dan terbenam tepat di barat, terlepas dari derajat lintangnya, sehingga sudut azimuth adalah 90° pada matahari terbit dan 270° pada matahari terbenam. Namun pada umumnya sudut azimuth memiliki variasi bergantung pada derajat lintangnya dan waktu dalam tahun. Persamaan lengkap untuk menghitung posisi matahari sepanjang hari diberikan di halaman berikutnya. Sudut azimuth adalah seperti arah mata angin dengan Utara = 0° dan Selatan = 180° . Penulis lain menggunakan beberapa definisi yang agak berberda (misal: sudut $\pm 180^\circ$ dan Selatan = 0°).[15]



Gambar 2. 7 Sudut Azimuth

Sudut azimuth dihitung dari parameter di atas:

$$\text{Azimuth} = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \delta \cos \theta - \cos \delta \sin \theta \cos \alpha}{\cos \alpha} \right] \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan α sebagai elevasi, θ adalah derajat lintang, dan δ adalah deklinasi.

Persamaan di atas hanya memberikan sudut azimuth yang benar di pagi hari sehingga:

Azimuth = A_{zi} , for LST < 12 or HRA < 0

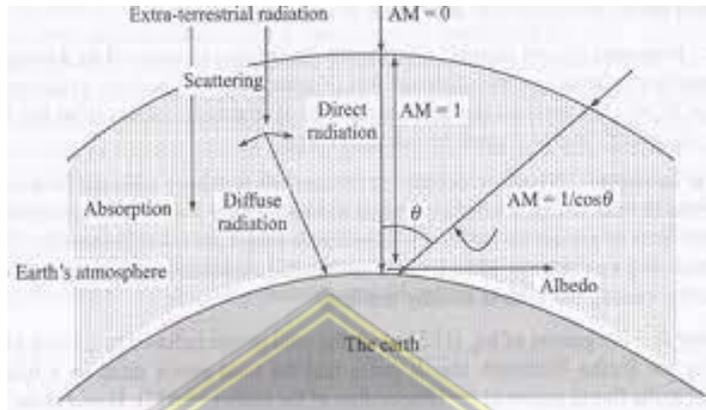
Azimuth = $360^\circ - A_{zi}$, for LST > 12 or HRA > 0

Menentukan radiasi posisi matahari pada permukaan yang condong atau miring membutuhkan nilai total radiasi matahari pada permukaan horizontal dan arah dari mana komponen pancaran dan radiasi menyebar mencapai permukaan. Distribusi radiasi difusi di atas kubah langit dipengaruhi oleh kekeruhan variabel dan kejernihan atmosfer. Tipe radiasi matahari terdiri dari tiga bagian yaitu bagian isotropik yang menerima radiasi matahari secara merata dari seluruh kubah langit; di bagian circumsolar, difusi terjadi karena hamburan radiasi matahari ke depan; pencerahan cakrawala terjadi di langit cerah dan dekat cakrawala.

Menentukan sudut kemiringan panel surya yang optimal yaitu yang paling utama adalah pentingnya untuk pengoperasian yang efisien, karena penempatan yang salah akan mengakibatkan hilangnya potensi matahari. Sudut kemiringan optimal diperhitungkan berdasarkan pada memaksimalkan radiasi matahari yang menuju ke permukaan miring dengan berbagai teknik optimasi. Radiasi matahari yang mengenai bidang miring digunakan untuk menghitung sudut kemiringan

yang ideal. Radiasi total rata-rata pada bidang miring (TH) sering dihitung sebagai jumlah dari radiasi langsung

$$H_T = H_B + H_D + H_R \dots\dots\dots(2.6)$$



Gambar 2. 8 Interaksi Radiasi Matahari

2.2.4.1 Radiasi langsung

Salah satu komponennya yaitu penaksiran radiasi langsung adalah perhitungan total radiasi matahari yang jatuh pada bidang miring. Radiasi langsung pada suatu kemiringan dapat ditunjukkan dengan persamaan :

$$H_B = (H_g - H_d)R_b \dots\dots\dots(2.7)$$

Hg dan Hd merupakan representasi dari radiasi global dan radiasi difusi pada permukaan horizontal. Rasio Rb menggambarkan perbandingan antara radiasi langsung pada permukaan miring dan radiasi pada permukaan horizontal. Rasio Rb dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$R_b = \frac{\cos\theta_z}{\cos\theta} \dots\dots\dots(2.8)$$

2.2.4.2 Radiasi Difusi

Untuk mensimulasikan rasido difusi radiasi matahari antara permukaan miring dan horizontal, dggunakan teknik pemodelan isotropik dan anisotropik, Model isotropic membuat asumsi bahwa intensitas radiasi difusi adalah konstan di seluruh langit. Oleh karena itu, pada permukaan miring, radiasi difusi tergantung pada bagian kubah langit yang terlihat dari posisi permukaan Perancangan difusi radiasi pada bidang inklinasi meliputi

$$H_D = R_d - H_d \dots\dots\dots(2.9)$$

Rasio R_d merupakan perbandingan antara antara fluks radiasi yang jatuh pada permukaan miring dengan fluks radiasi difusi yang jatuh pada permukaan horizontal. Nilai parameter R_d dapat bervariasi tergantung pada model yang digunakan untuk pemodelan radiasi difusi, dan salah satu model yang umum digunakan adalah model isotropik:

Model Isotropik diantaranya :

Model Badescu

$$R_d = \frac{3 + \cos\theta \cos(2\beta)}{4} \dots\dots\dots (2.10)$$

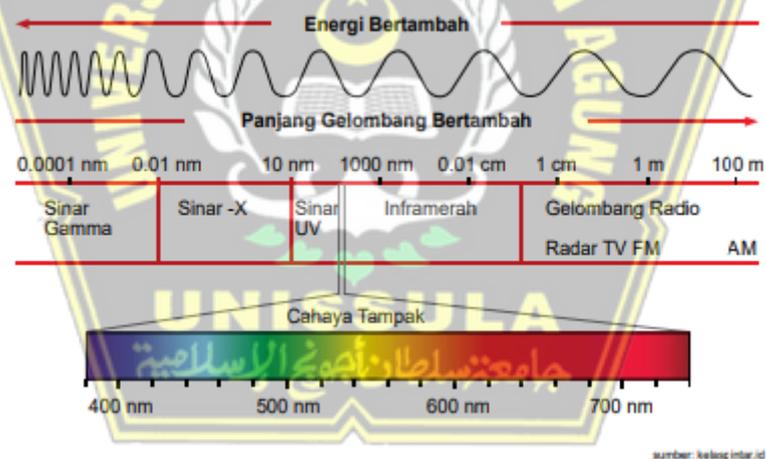
2.2.4.3 Radiasi Pantul

Perhitungan radiasi pantul pada bidang miring yaitu

$$H_R = H_{g,p} \frac{1 - \cos\beta}{2} \dots\dots\dots (2.11)$$

P = ground albedo atau faktor pantul tanah

2.2.7 Infrared dan Ultraviolet



Gambar 2. 9 Infrared dan Ultraviolet

Inframerah adalah bentuk radiasi yang menghasilkan rasa panas saat terkena sinar matahari, sementara UV dapat menyebabkan luka bakar pada kulit di bawah paparan sinar matahari. Radiasi ultraviolet memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan inframerah. Meskipun istilah "lebih panas" digunakan secara tidak formal, perlu ditegaskan bahwa foton dari radiasi UV memiliki energi lebih tinggi daripada foton radiasi IR. Namun, dalam mengukur energi secara keseluruhan, jumlah foton juga memainkan peran penting.

Cahaya tampak adalah bagian dari spektrum elektromagnetik yang dapat dilihat oleh mata manusia. Rentang panjang gelombang cahaya tampak berkisar antara 400 hingga 700 nanometer (nm). Sinar cahaya tampak ini memiliki energi yang cukup untuk merangsang elektron di dalam bahan semikonduktor yang digunakan dalam panel surya. Panel surya dirancang khusus untuk menangkap cahaya tampak dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Ini adalah prinsip dasar dari panel surya yang paling umum digunakan saat ini.

Yang masuk ke panel surya biasanya adalah cahaya tampak, yang termasuk dalam rentang spektrum elektromagnetik antara ultraviolet (UV) dan inframerah (IR). Panel surya dirancang untuk menangkap energi dari cahaya tampak, yang memiliki panjang gelombang sekitar 400 hingga 700 nanometer (nm). Sinar UV dengan panjang gelombang di bawah 400 nm umumnya tidak secara efisien diubah menjadi energi listrik dalam panel surya yang umum digunakan saat ini. Radiasi UV yang lebih pendek memiliki energi yang cukup untuk merusak materi, termasuk komponen panel surya, dan lebih banyak diserap oleh atmosfer.

Sinar IR dengan panjang gelombang di atas 700 nm juga kurang efisien untuk diubah menjadi energi listrik dalam panel surya tradisional. Radiasi IR ini umumnya diasosiasikan dengan panas dan memiliki energi yang lebih rendah. Cahaya tampak memiliki energi yang cukup untuk merangsang elektron dalam material fotovoltaiik di dalam panel surya, sehingga menciptakan arus listrik. Karena itulah, cahaya tampak merupakan komponen utama dari spektrum cahaya matahari yang dimanfaatkan oleh panel surya saat ini.

Dalam kondisi tertentu seperti cuaca mendung, proporsi sinar ultraviolet dari matahari dapat lebih tinggi daripada sinar tampak atau inframerah, karena lebih banyak sinar UV yang mampu melewati atau mengelilingi awan. Ini dapat membuat mata kita menjadi sedikit teriritasi meskipun intensitas cahaya tampaknya tidak terlalu tinggi. Meskipun kita tidak bisa melihat radiasi ultraviolet secara langsung, kita masih bisa merasakan dampaknya dalam beberapa cara.[16]

Diperlukan untuk dicatat bahwa perangkat pemanas yang umumnya digunakan tidak memancarkan radiasi ultraviolet. Dalam umumnya, spektrum cahaya matahari dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu sinar ultraviolet (UV) dengan panjang gelombang antara 100 hingga 400 nm, kemudian cahaya tampak yang terlihat oleh mata manusia dengan panjang gelombang antara 400 hingga 700 nm, dan yang terakhir adalah sinar inframerah (IR) dengan panjang gelombang antara 700 nm hingga 1 mm. Seperti halnya sinar ultraviolet, sinar inframerah juga tidak bisa dilihat oleh mata manusia. Untuk informasi tambahan, 1 nanometer (nm) setara dengan satu miliar bagian dari satu meter (10^{-9} meter).

Radiasi ultraviolet (UV) adalah bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang mengandung energi radiasi matahari pada rentang panjang gelombang 100 hingga 400 nm. Radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi sendiri mencakup rentang panjang gelombang 100 nm hingga 1 mm.

Badan Meteorologi Dunia (World Meteorological Organisation/WMO) mencatat bahwa kurangnya paparan sinar matahari dapat mempengaruhi suasana hati dan meningkatkan risiko kekurangan vitamin D. Namun, terlalu banyak paparan sinar matahari juga dapat membawa bahaya bagi kesehatan. Radiasi ultraviolet (UV) pada rentang panjang gelombang 100 hingga 400 nm dibagi lagi menjadi tiga bagian, yaitu UV A, UV B, dan UV C, dengan detail sebagai berikut:[17]

UV A: 315 - 400 nm

UV B: 280 - 325 nm

UV C: 100 - 280 nm

Ketika radiasi memasuki atmosfer, hampir seluruh sinar UV C diserap oleh lapisan ozon dan 90% sinar UV B diserap oleh ozon, uap air, dan gas lain di atmosfer. Sebaliknya, sinar UV A cenderung mencapai permukaan bumi dengan lebih banyak. Oleh karena itu, mayoritas radiasi UV yang mencapai permukaan bumi adalah UV A (90-99%), dengan sedikit UV B (<10%).

Jumlah radiasi sinar ultraviolet (UV) yang mencapai bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk sudut datang sinar matahari (semakin tegak, semakin banyak sinar UV), posisi lintang geografis (semakin dekat ke kutub,

semakin sedikit sinar UV), keberadaan awan (semakin banyak awan, semakin sedikit sinar UV), ketinggian tempat (semakin tinggi tempat, semakin banyak sinar UV), jumlah ozon di lapisan atmosfer atas (semakin banyak ozon, semakin baik penyaringan UV), serta tingkat refleksi dari permukaan bumi (semakin tinggi refleksi, semakin sedikit sinar UV yang mencapai permukaan bumi). Dalam ringkasannya, meskipun kita tidak dapat melihat radiasi ultraviolet secara langsung, kita masih dapat merasakan efek keseluruhan dari sinar ultraviolet dalam beberapa cara.

2.2.8 Daya dan Efisiensi pada Panel Surya

Untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan pada suatu waktu tertentu, Langkah awalnya adalah mengetahui daya yang diterima oleh panel PV. Daya yang diterima ini diperoleh dari hasil perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima oleh pv dan luas area panel tersebut. Proses ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_{in} = E \times A \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

P_{in} = Daya input akibat irradiance matahari (Watt)

E = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = Luas area permukaan *Photovoltaic* panel (m²) [18]

Untuk memperoleh nilai daya pada panel surya (P_{out}), dapat dihitung dengan mengalikan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}), dan faktor pengisian (Fill Factor) yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* menggunakan rumus berikut:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh *Photovoltaic* (Watt)

V_{OC} = Tegangan rangkaian terbuka pada *Photovoltaic* (Volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada *Photovoltaic* (Ampere)

FF = Fill Factor [18]

Sementara itu, untuk menghitung efisiensi panel surya, dapat dilakukan dengan membagi daya keluaran (output) oleh daya masukan (input), kemudian hasilnya dikalikan dengan 100% menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

Efisiensi panel surya adalah rasio antara daya yang dihasilkan oleh panel surya dengan energi input yang diterima dari radiasi matahari. Ukuran efisiensi ini dinyatakan dalam persentase dan mencerminkan efisiensi pada saat pengambilan data dilakukan.

$$\eta = \frac{P_{out}}{E \times A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

η = Efisiensi *Photovoltaic* (%)

E = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = Luas area permukaan *Photovoltaic* panel (m²) [18]

2.2.9 Power Budget (Kebutuhan PLTS)

Pada saat melakukan perancangan PLTS, terlebih dahulu mengetahui berapa kebutuhan energi yang diperlukan dan berapa daya yang dibutuhkan untuk menyuplai energi tersebut. Terdapat perhitungan untuk menentukan kebutuhan PLTS, agar tidak terjadi drop tegangan atau kerusakan nantinya pada saat perancangan atau pemakaian. Perhitungan ini pun tidak terlepas dari faktor efisiensi peralatan yang akan digunakan pada panel surya, yaitu efisiensi SCC dan inverter.

1. Menghitung kebutuhan energi yang akan digunakan

$$WH = P \times h \dots\dots\dots (2.16)$$

Ket :

WH = Energi Waktu (watt hours)

P = Daya (watt)

h = Hours (Waktu)

2. Menghitung Jumlah Aki

$$Jumlah\ Aki = \frac{Daya\ jam\ (wh)}{Daya\ Battery} = \frac{Daya\ jam\ (wh)}{V_{battery} \times Ah_{battery}} \dots\dots\dots (2.17)$$

3. Menghitung Jumlah Panel

$$Jumlah\ Panel = \frac{Daya\ jam\ (wh)}{Wp\ Panel\ x\ Jam\ Matahari} \dots\dots\dots (2.18)$$

(perhitungan ini tanpa mempengaruhi toleransi rugi daya dan faktor keamanan)

2.2.9.1 Menghitung Baterai

Untuk menghitung jumlah aktual baterai atau akumulator, harus diperhitungkan rugi-rugi daya dari baterai ke beban, jika beban yang digunakan adalah arus bolak-balik, maka dihitung efisiensi inverter. Efisiensi inverter sekitar 75-95%, tergantung jenis inverter yang digunakan. Baterai kehilangan 10%-5% saat menggunakan inverter PSW dan 25%-15% saat menggunakan inverter MSW. Oleh karena itu, rugi-rugi daya juga harus diperhitungkan dalam perhitungan daya

$$Jumlah\ Aki = \frac{Daya\ jam\ (wh) \times \eta}{Daya\ Battery} = \frac{Daya\ jam\ (wh) \times \eta}{V_{battery} \times Ah_{battery}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Setelah itu, hasil perhitungan di atas memberikan Waktu daya akhir (wh) atau yang dihitung berdasarkan efisiensi (kehilangan daya). Kapasitas baterai bervariasi sesuai dengan rekomendasi pabrikan. Misalnya VRLA dengan kapasitas baterai 50% atau DoD (Depth of Discharge) yang diperbolehkan 50%-70%. DoD adalah batas kedalaman laju pengosongan baterai. Dengan demikian, jumlah baterai yang efektif dapat dihitung sebagai berikut (Menggunakan contoh baterai VRLA dengan efisiensi kapasitas nya 50%)

$$Jumlah\ Baterai\ dengan\ DoD\ x = \frac{Jumlah\ Baterai}{\eta} \dots\dots\dots (2.20)$$

2.2.9.2 Menghitung Panel Surya

Untuk menghitung jumlah panel surya kita harus memperhatikan efisiensi dari SCC. Efisiensi SCC juga berbeda-beda, untuk mppt efisiensinya 90%-96% dan PWM 60%-70%. Rugi daya pada MPPT sebesar 10% dan PWM sebesar 40%. Kemudian jumlah panel dengan rugi daya dapat dihitung sebagai berikut

$$Jumlah\ Panel = \frac{Daya\ jam\ (wh) \times \eta}{Wp\ Panel\ x\ Jam\ Matahari} \dots\dots\dots (2.21)$$

2.2.10 Posisi Matahari

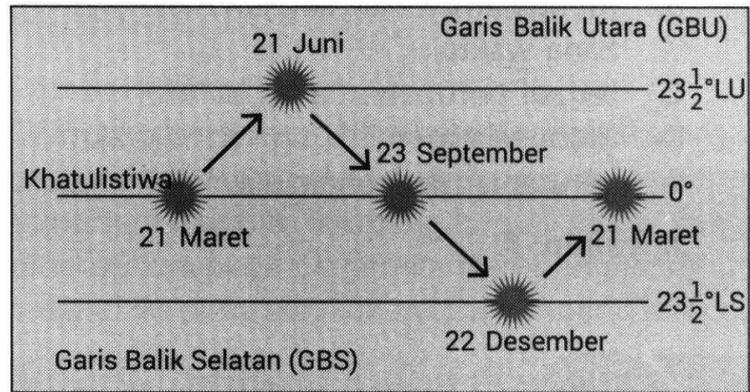
Posisi matahari dapat bervariasi tergantung pada waktu, tanggal, dan lokasi geografis tertentu. Pada umum, matahari muncul terbit dari arah timur dan terbenam di arah barat, dengan mencapai titik tertinggi di langit pada tengah hari saat berada di posisi puncaknya. Pergerakan matahari sepanjang hari dipengaruhi oleh rotasi Bumi pada sumbunya. Matahari tampak bergerak dari timur ke barat sepanjang hari, tetapi sebenarnya, itu adalah Bumi yang berputar mengelilingi sumbunya. Akibatnya, posisi matahari tampak berubah-ubah dalam hal azimut (arah horizontal) dan tinggi (elevasi) relatif terhadap pengamat. Selain itu, posisi matahari juga dipengaruhi oleh musim. Selama musim panas, posisi matahari lebih tinggi di langit, sehingga memberikan lebih banyak cahaya dan panas, sementara selama musim dingin, matahari cenderung lebih rendah di langit.

Berikut adalah gambaran umum tentang posisi matahari setiap bulannya:

1. Januari: Pada bulan Januari, matahari cenderung lebih rendah di langit di belahan bumi utara karena kemiringan sumbu Bumi menjauh dari Matahari. Sebaliknya, di belahan bumi selatan, matahari akan berada pada posisi yang lebih tinggi di langit.
2. Februari - Maret: Posisi matahari secara bertahap naik di langit seiring berjalannya waktu. Pada bulan Februari atau Maret, matahari masih relatif rendah di belahan bumi utara, tetapi mulai naik lebih tinggi setiap harinya. Di belahan bumi selatan, matahari terlihat semakin rendah di langit.
3. April: Pada bulan April, di belahan bumi utara, matahari mulai naik lebih tinggi di langit seiring dengan berakhirnya musim dingin dan masuknya musim semi. Matahari akan terlihat lebih tinggi setiap harinya, dan hari-hari juga mulai menjadi lebih panjang. Namun, matahari belum mencapai titik tertingginya seperti pada bulan Juni. Di belahan bumi selatan, bulan April merupakan masa perpindahan dari musim panas ke musim gugur, sehingga matahari mulai turun sedikit lebih rendah di langit.
4. Mei: Pada bulan Mei, matahari terus naik lebih tinggi di langit di bumi bagian utara. Ini adalah masa awal musim panas di bumi bagian utara, di mana matahari mencapai posisi yang lebih tinggi di langit pada siang hari.

Hari-hari juga semakin panjang dan matahari terbit lebih awal serta terbenam lebih lambat. Di belahan bumi selatan, bulan Mei mengalami masa transisi dari musim gugur ke musim dingin, sehingga matahari mulai turun lebih rendah di langit.

5. Juni: Bulan Juni menandai peralihan ke musim panas di belahan bumi utara dan musim dingin di belahan bumi selatan. Pada saat itu, matahari berada pada posisi tertinggi di langit di belahan bumi utara, memberikan hari terpanjang dalam setahun. Sementara itu, di belahan bumi selatan, matahari berada pada posisi terendah di langit.
6. Juli: Pada bulan Juli, di belahan bumi utara, matahari cenderung berada pada posisi yang tinggi di langit karena sedang berlangsung musim panas di wilayah tersebut. Selama periode siang hari, matahari berada pada posisi yang lebih tinggi, sehingga hari-hari juga lebih panjang dengan matahari terbit lebih awal dan terbenam lebih lambat. Di sisi lain, di belahan bumi selatan, bulan Juli mengalami musim dingin, sehingga matahari cenderung lebih rendah di langit.
7. Agustus: Pada bulan Agustus, pergerakan matahari akan sedikit bergeser dibandingkan dengan bulan Juli. Di belahan bumi utara, matahari mulai turun secara perlahan dan hari-hari sedikit lebih pendek. Meskipun masih berada pada posisi yang relatif tinggi di langit, matahari tidak lagi berada pada titik tertinggi seperti pada bulan Juni. Di belahan bumi selatan, bulan Agustus merupakan masa perpindahan dari musim dingin ke musim semi, sehingga matahari mulai naik sedikit lebih tinggi di langit.
8. September - Oktober: Posisi matahari mulai turun kembali di langit seiring dengan berakhirnya musim panas di bumi bagian utara. Di bumi bagian selatan, matahari mulai naik kembali di langit.
9. Desember: Pada bulan Desember, matahari berada pada posisi terendah di langit di bumi bagian utara dan memberikan hari terpendek dalam setahun. Di bumi bagian selatan, matahari berada pada titik tertinggi di langit.[19]



Gambar 2. 10 Pergeseran posisi matahari



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu studi literatur dan observasi. Studi literatur melibatkan pengumpulan informasi dari jurnal, publikasi ilmiah, dan studi kasus yang berasal dari berbagai sumber. Melalui studi literatur ini, kita dapat mengidentifikasi parameter-parameter yang dapat dijadikan sebagai acuan atau referensi dalam proses observasi tersebut.

Menentukan sudut kemiringan yang tepat untuk panel surya memiliki manfaat signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi listrik yang dihasilkan dari konversi sinar matahari. Dengan penelitian ini, produksi energi dari panel surya dapat dioptimalkan, sumber daya dapat digunakan lebih efisien, dan potensi energi surya di wilayah tertentu dapat dimaksimalkan dengan menyesuaikan sudut kemiringannya sesuai lokasi geografisnya.

Penelitian ini mengkaji tentang cara meningkatkan efisiensi sudut dan output dari panel surya dengan membandingkan dua jenis panel surya yang berbeda. Panel surya pertama memiliki sudut tetap pada 90° , sementara panel surya kedua memiliki kemampuan untuk mengubah sudutnya antara 0° hingga 180° . Bab ini, akan membahas komponen dan metode penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data. Penelitian ini menggunakan tipe *monocrystalline*, karena efisiensi panel *monocrystalline* mencapai 15-20% dan panel ini mampu berkinerja lebih baik dalam suhu tinggi dan kondisi yang teduh

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Mei 2023 di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Lokasi penelitian berada di Semarang, yang memiliki koordinat geografis $6^\circ 58' 0''\text{S}$ $110^\circ 25' 0''\text{E}$. Fakultas Teknologi Industri sendiri berlokasi pada titik koordinat $-6.954203, 110.460137$.

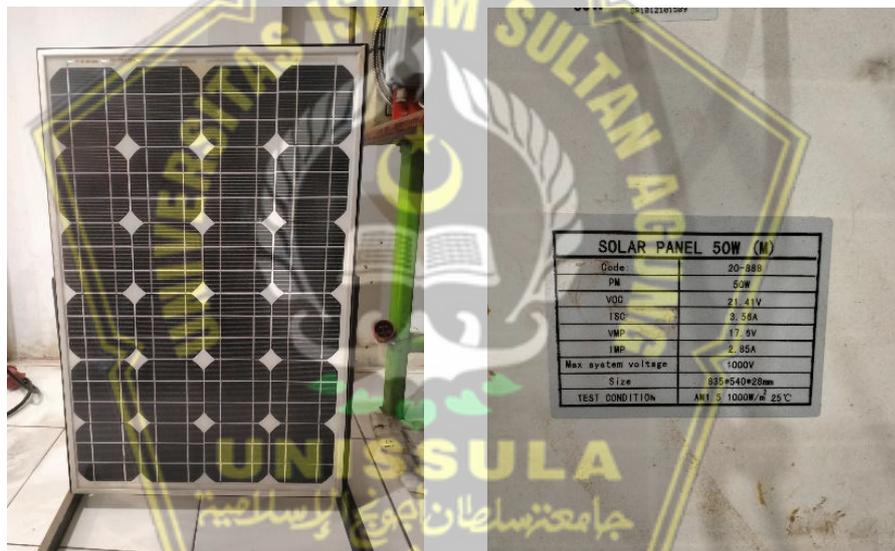
3.3 Komponen Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Modul Panel Surya *Monocrystalline*

Modul panel surya adalah sekumpulan sel sel yang dapat menyerap sinar matahari, biasanya panel surya berbahan dari lapisan silicon. Berikut spesifikasi dari panel surya *monocrystalline* 50 WP.

- a. Pmax : 50 W
- b. Voc : 21,41 V
- c. Isc : 3,56 A
- d. Vmp : 17,6 V
- e. Imp : 2,85 A
- f. Max System Voltage : 1000 V
- g. Dimension : 835mm x 540mm x 28mm
- h. IRRadiance : 1000 W/m²



Gambar 3. 1 Solar Panel *Monocrystalline* 50 WP dan Spesifikasinya

2. Volt Ampere Meter
3. Digital Meter
4. Infrared Thermometer
5. Light Meter
6. Lampu

3.4 Cara Pengukuran Arah Matahari

Cara pengukuran arah matahari pada penelitian ini yaitu menggunakan tracker sederhana yang dirancang sendiri. Solar tracker sederhana ini dibentuk dari plat lurus vertikal untuk menentukan arah matahari. Solar tracker tidak hanya digunakan

pada solar panel , tetapi juga digunakan saat pengukuran intensitas cahaya . Hal ini dikarenakan agar nilai intensitas cahaya yang didapatkan adalah hasil yang optimal tegak lurus dengan posisi matahari.

Pada gambar 3.2 dapat dilihat bahwa pada plat masih terlihat sedikit bayangan , yang berarti bahwa posisi solar panel belum tegak lurus dengan posisi matahari. Setelah itu dapat diubah dengan cara diatur sehingga tidak terdapat bayangan lagi seperti pada gambar 3.3. Gambar 3.3 dimaksudkan bahwa solar panel sudah tegak lurus dengan posisi matahari. Dapat diperhatikan bahwa tempat penelitian ada di Semarang yang berada di belahan bumi bagian selatan, sehingga solar panel di arahkan ke arah utara untuk memaksimalkan paparan matahari.



Gambar 3. 2 Plat Terdapat Bayangan



Gambar 3. 3 Plat Tidak Terdapat Bayangan

Pada gambar 3.4 dan 3.5 Light Meter juga diarahkan menggunakan solar tracker sederhana agar posisinya menghadap sejajar dengan posisi matahari. Hal ini dimaksudkan supaya nilai intensitas cahaya yang didapat oleh sensor cahaya dapat maksimal dan optimal.



Gambar 3. 4 Light Meter Terdapat Bayangan



Gambar 3. 5 Light Meter Tidak Ada Bayangan

3.5 Cara Pengukuran Sudut

Cara pengukuran sudut yang telah disesuaikan / tegak lurus dengan arah matahari menggunakan aplikasi yaitu clinometer. Aplikasi ini berada di handphone, kemudian handphone di disesuaikan kemiringannya dengan panel surya. Setelah panel surya di ukur menggunakan tracker, selanjutnya diukur sudutnya dengan menggunakan metode tersebut.



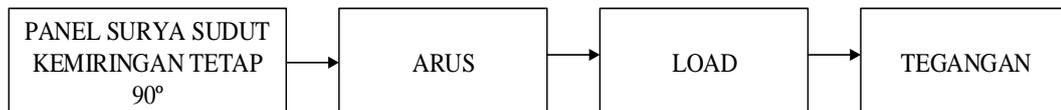
Gambar 3. 6 Cara Pengukuran Sudut Menggunakan Klinometer

3.6 Diagram Blok

Berikut ini adalah mekanisme sistem kerja dalam bentuk diagram blok.



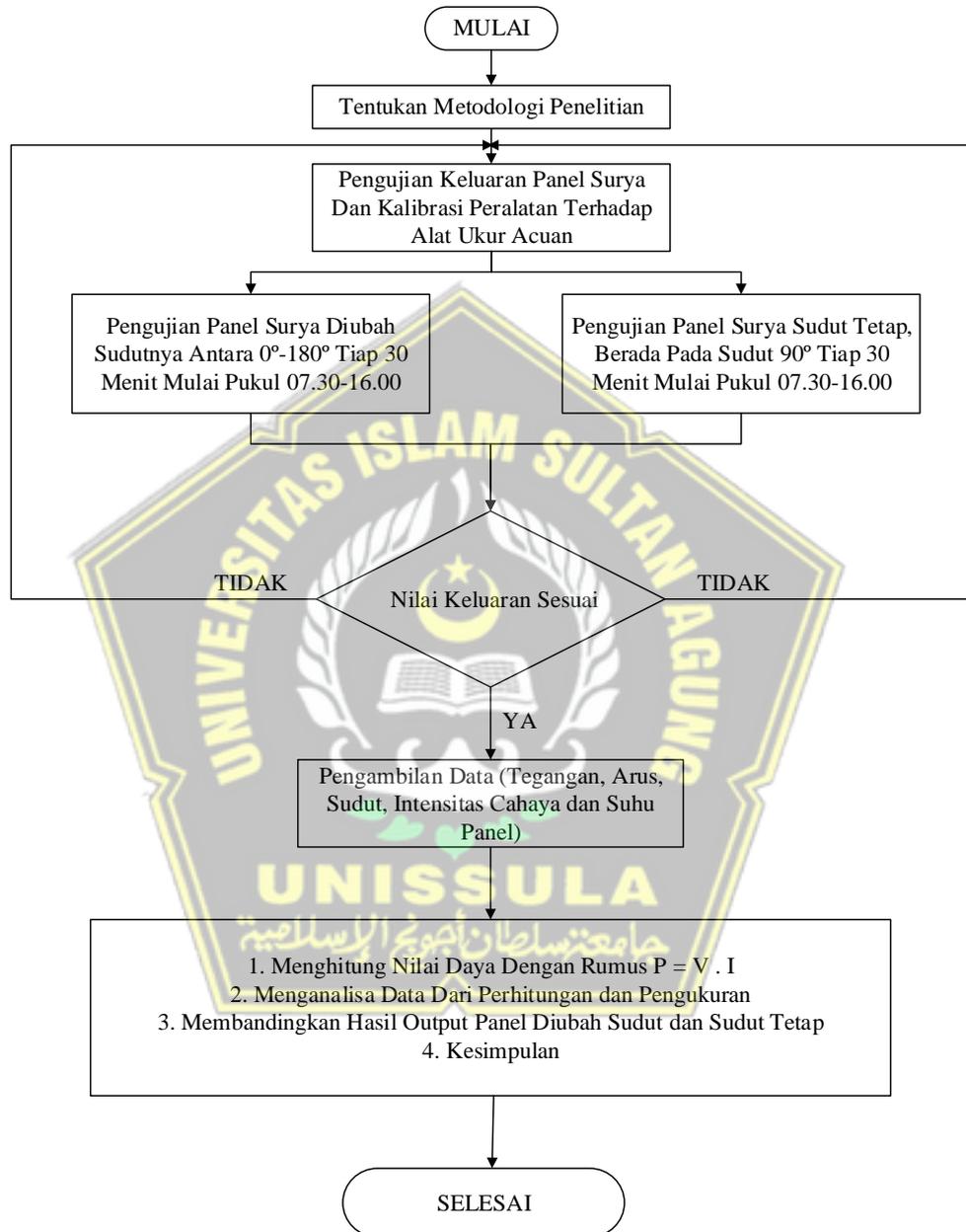
Gambar 3. 7 Diagram Blok *Photovoltaic* Yang Diubah Sudutnya



Gambar 3. 8 Diagram Blok *Photovoltaic* Yang Tetap Sudutnya

3.7 Diagram Alur Penelitian

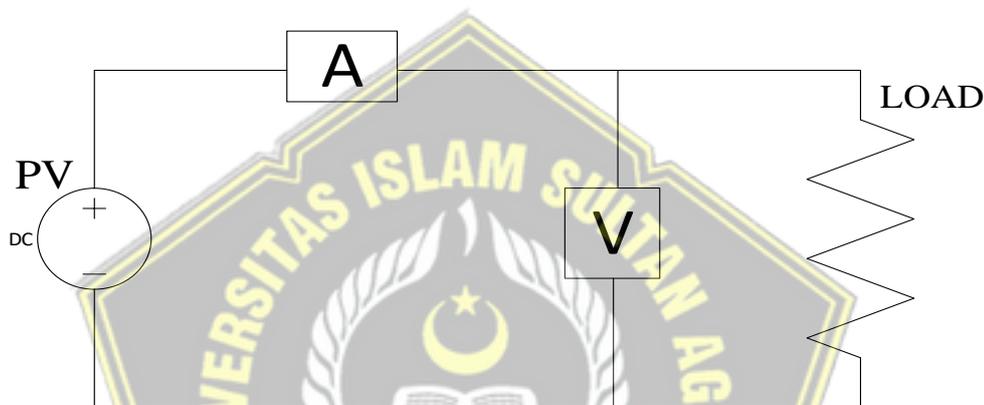
Diagram alur penelitian merupakan gambaran umum dalam penelitian, yang ditunjukkan pada Gambar



Gambar 3. 9 Diagram Alur Penelitian (*Flowchart*)

3.8 Rangkaian Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat rangkaian closed loop yang menghubungkan panel surya dengan beban melalui volt ampere meter. Rangkaian closed loop atau rangkaian tertutup adalah suatu sistem di mana sinyal atau arus kembali ke sumber awal setelah melalui berbagai elemen dalam rangkaian. Volt ampere meter digunakan untuk mengukur besaran arus dan tegangan dalam rangkaian. Digunakan untuk memantau dan menganalisis performa sistem secara keseluruhan, termasuk bagaimana efisiensi konversi energi dari panel surya ke beban.



Gambar 3. 10 Rangkaian Close Loop Panel Surya

3.9 Prosedur Penelitian

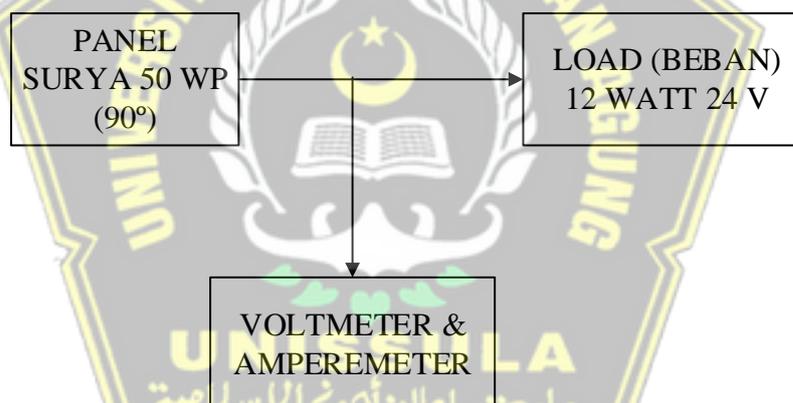
Perancangan ini, terdapat dua jenis panel surya yang digunakan. Pertama, panel surya yang dapat berubah sudutnya tegak lurus dengan arah matahari, dengan rentang sudut antara 0° hingga 180° . Kedua, panel surya yang memiliki sudut tetap pada 90° . Tipe solar panel yang digunakan adalah *monocrystalline* dengan daya 50 WP. Kemudian, kedua panel surya ini akan dihubungkan ke beban atau muatan yang akan menghasilkan nilai tegangan dan arus. Untuk mengukur nilai tegangan dan arus, digunakan alat pengukur amperemeter dan voltmeter, sedangkan nilai daya (watt) diperoleh dengan menggunakan persamaan ($P = V \times I$). Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit sekali yang dimulai pada pukul 07.30-16.00 WIB dan didapatkan masing masing 18 data.

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei, di mana secara umum posisi matahari cenderung lebih tinggi di belahan bumi utara daripada di belahan bumi selatan. Penelitian ini dilakukan di Semarang, yang terletak di sekitar garis lintang sekitar

6°55' Lintang Selatan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kedua panel surya dimiringkan sedikit ke arah utara agar tegak lurus dengan posisi Matahari. Pada awal bulan Mei, matahari akan naik lebih rendah di langit, tetapi seiring berjalannya waktu, matahari akan naik lebih tinggi. Puncak Matahari akan mencapai titik tertinggi sekitar pertengahan tahun, terutama menjelang titik balik musim panas pada bulan Juni.

3.9.1 Pengujian Keluaran Panel Surya dan Kalibrasi Alat

Pada penelitian ini membutuhkan sebuah panel surya 50° WP dan beban 24 V 12 W. Pada pengujian ini kedua panel diposisikan dengan sudut yang sama yaitu 90° bidang datar (tegak lurus terhadap permukaan tanah atau menghadap keatas). Pengujian ini menghasilkan nilai tegangan, arus pada dua alat pengukuran yaitu volt ampere meter dan digital meter, diantara keduanya didapatkan hasil yang mendekati.

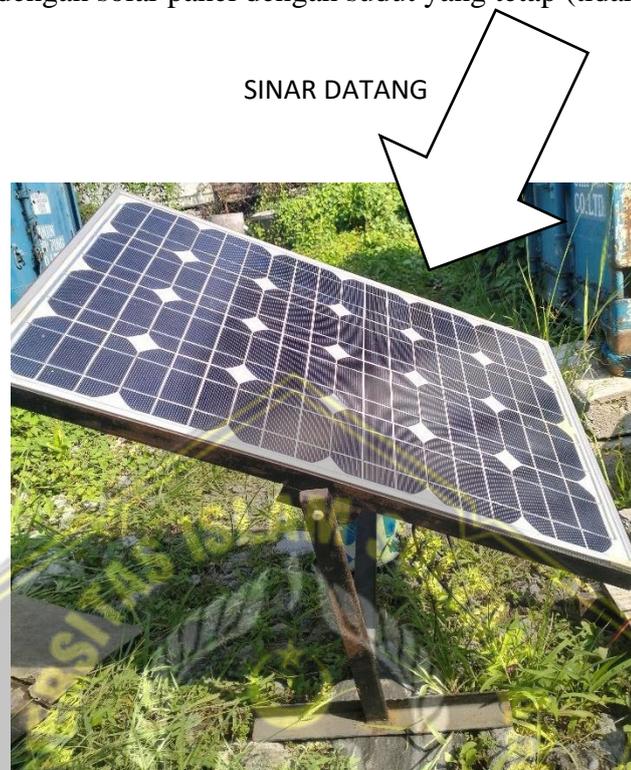


Gambar 3. 11 Pengujian Kalibrasi 2 Solar Panel (Tetap dan Diubah)

3.9.2 Pengujian Panel Surya Sudut Kemiringan Diubah

Pengujian ini menggunakan panel surya 50 WP yang langsung dihubungkan ke load (beban) dan dilakukan dengan mengubah sudut panel tegak lurus dengan arah matahari dengan menggunakan tracker. Panel surya yang dapat berubah sudutnya tegak lurus dengan arah matahari, dengan rentang sudut θ (0° hingga 180°) tegak lurus dengan arah matahari dari timur ke barat. Pengambilan data dilakukan dengan interval waktu setiap 30 menit sekali dimulai pada pukul 07.30-16.00 WIB dengan cuaca yang cerah. Menghasilkan nilai tegangan, arus, suhu

panel dan intensitas cahaya. Kemudian hasil yang diperoleh tersebut akan dibandingkan dengan solar panel dengan sudut yang tetap (tidak diubah).



Gambar 3. 12 Pengujian Panel Surya Sudut Diubah

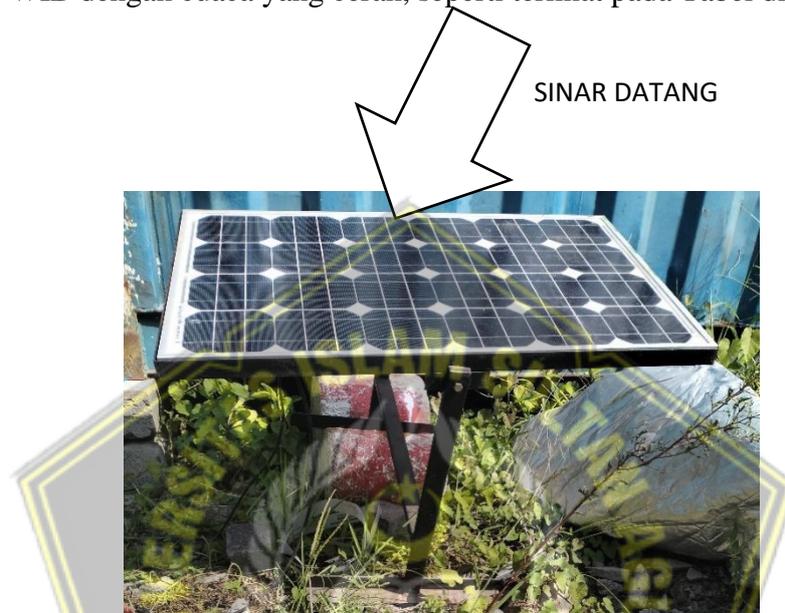
Sudut datang sinar matahari terhadap posisi PV (*Photovoltaic*) mengacu pada mengubah posisi panel surya terhadap arah datangnya sinar matahari. Hal ini sangat penting dalam memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik melalui panel surya, karena optimalisasi posisi PV memungkinkan permukaan panel selalu menghadap ke arah sinar matahari secara optimal sepanjang hari dan tahun.

Dengan demikian, panel surya dapat menangkap sebanyak mungkin sinar matahari dan menghasilkan energi listrik atau output dengan efisien. Dengan mengatur posisi PV agar selalu menghadap permukaan panel surya ke arah sinar matahari secara optimal, kinerja panel surya meningkat, sehingga pemanfaatan energi matahari menjadi lebih efisien.

3.9.3 Pengujian Panel Surya Sudut Kemiringan Tetap

Pengujian ini menggunakan panel surya 50 WP yang langsung dihubungkan ke load (beban). Berbeda dengan yang pengujian sebelumnya, dikarenakan pada

pengujian ini tidak merubah sudutnya atau sudutnya tetap di 90° (sudut siku-siku). Pengujian ini akan menghasilkan nilai tegangan, arus, suhu panel dan intensitas cahaya yang akan dibandingkan dengan pengujian yang diubah sudutnya. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit sekali dimulai pada pukul 07.30-16.00 WIB dengan cuaca yang cerah, seperti terlihat pada Tabel dibawah ini



Gambar 3. 13 Pengujian Panel Surya Sudut Tetap

Perubahan sudut datang sinar matahari terhadap posisi PV (*Photovoltaic*) yang tetap dapat mempengaruhi jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Jika sudut datang sinar matahari sesuai dengan posisi PV yang optimal, panel surya dapat menyerap lebih banyak energi matahari dan menghasilkan output energi listrik yang lebih tinggi. Hal ini karena ketika sudut datang sinar matahari berada pada posisi yang tepat, permukaan panel surya memiliki paparan maksimum terhadap sinar matahari, sehingga panel dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik secara efisien.

Namun, jika sudut datang sinar matahari tidak cocok dengan posisi PV, seperti terlalu datar atau terlalu curam terhadap permukaan panel surya, efisiensi panel dapat menurun, dan output energi listrik yang dihasilkan akan berkurang.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Mengacu pada model penelitian yang telah dibahas sebelumnya, Dalam bab ini, kita akan membahas hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terkait dengan pengaruh sudut kemiringan solar panel (*Photovoltaic*) *monocrystalline* 50 wp terhadap optimalisasi output daya. Berikut pengujian yang telah dilakukan

Sebelum melakukan pengujian keluaran panel surya terhadap sudut kemiringan, terlebih dahulu dilakukan pengujian keluaran dan kalibrasi panel surya 50 WP menggunakan alat ukur Volt Ampere Meter dengan Multimeter supaya volt ampere yang digunakan hasilnya akurat dan konsisten. Didapatkan data seperti pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data Kalibrasi pada Sudut 90° (tegak lurus)

No	VOLT AMPERE METER				MULTIMETER			
	V _T	I _T	V _U	A _U	V _T	A _U	V _T	A _U
1	19,1	0,65	19,9	0,69	19,11	0,63	19,95	0,67

Pada Tabel 4.1 diatas maka dapat diketahui, hasil nilai pada volt ampere meter telah sesuai atau mendekati dengan hasil nilai multimeter. Maka dengan ini nilai yang dihasilkan sudah menunjukkan bahwa akurasi voltmeter telah sesuai.

Efisiensi Panel Surya

$$\eta = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} = \frac{P}{I_r \times A} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} = \frac{13,93}{343,6 \times 0,4509} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} = \frac{13,93}{154,9} \times 100\%$$

$$\eta = 0,9 \times 100\%$$

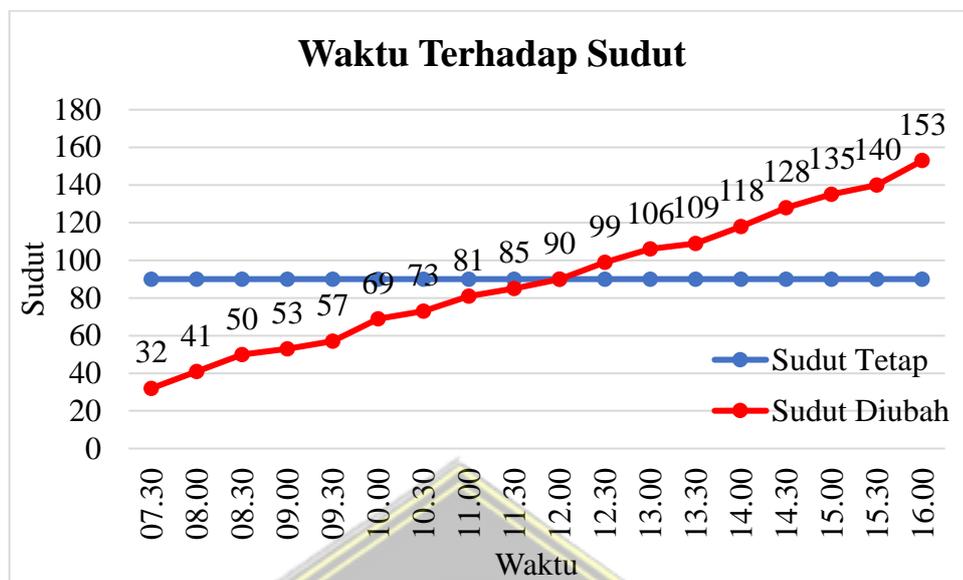
$$\eta = 9 \%$$

4.1 Sudut Optimal Panel Surya

Berkaitan dengan penempatan panel surya untuk mendapatkan optimalisasi dalam menghasilkan energi listrik, Dalam pengujian ini, menggunakan dua panel surya dengan sudut yang berbeda. Panel pertama diposisikan dengan sudut tetap 90°, sementara panel kedua memiliki sudut yang dapat diubah dengan interval dari 0° hingga 180°. Berikut adalah data yang telah dihasilkan.

Tabel 4. 2 Data Sudut Optimal yang Tidak Diubah Pada Panel Surya 50 Wp

No	Waktu	Sudut Tetap PV dengan Bidang Datar	Sudut Posisi Matahari	Sudut Diubah PV dengan Bidang Datar	Sudut Posisi Matahari
1	07.30	90	32	32	58
2	08.00	90	41	41	49
3	08.30	90	50	50	40
4	09.00	90	53	53	37
5	09.30	90	57	57	33
6	10.00	90	69	69	21
7	10.30	90	73	73	17
8	11.00	90	81	81	9
9	11.30	90	85	85	5
10	12.00	90	90	90	0
11	12.30	90	99	99	-9
12	13.00	90	106	106	-16
13	13.30	90	109	109	-19
14	14.00	90	118	118	-28
15	14.30	90	128	128	-38
16	15.00	90	135	135	-45
17	15.30	90	140	140	-50
18	16.00	90	153	153	-63



Gambar 4.1 Grafik Waktu Terhadap Sudut

Dalam pengujian ini, pengamatan terhadap sudut panel surya yang berbeda memberikan pemahaman tentang pengaruh sudut terhadap efisiensi energi yang dihasilkan. Panel surya yang diposisikan pada sudut tetap 90° (siku-siku) menunjukkan bahwa panel tetap menghadap ke atas secara vertikal terhadap permukaan tanah. Meskipun panel tetap pada sudut yang sama sepanjang waktu, hasil pengukuran dari panel ini memberikan acuan untuk membandingkan kinerja dengan panel yang sudutnya diubah.

Sementara itu, panel surya yang sudutnya diubah menunjukkan variasi dalam kinerja energi tergantung pada sudut kemiringan. Dalam pengujian ini, ditemukan bahwa sudut optimal terjadi pada rentang waktu pukul 9.30 hingga 13.00 WIB, dengan sudut kemiringan panel antara 57° hingga 99° . Pada sudut ini, panel surya dapat menyerap intensitas sinar matahari secara optimal, yang menghasilkan tingkat produksi energi yang lebih tinggi.

Dalam Tabel 4.2 disajikan berbagai nilai sudut posisi matahari yang penting dalam konteks penempatan panel surya. Konsep ini erat kaitannya dengan pembahasan yang ada pada Bab 2 mengenai Sudut Altitude. Sudut Altitude (β_N) merujuk pada sudut antara khatulistiwa lokal atau bidang datar dengan sinar datang matahari yang tegak lurus terhadap panel surya. Sudut antara bidang panel surya dan bidang datar dapat dinyatakan sebagai sudut β_N , dan nilai ini diperoleh melalui

penggunaan solar tracker sesuai dengan penjelasan pada Bab 3. Namun untuk menemukan sudut sinar datang matahari, kita dapat merujuk pada gambar 2.6, dimana δ adalah simbol sudut deklinasi matahari. Rumus yang digunakan untuk menghubungkan sudut deklinasi (δ) dengan sudut ketinggian β_N adalah sebagai berikut

$$\delta = 90^\circ - \beta_N$$

Dalam konteks perhitungan yang diambil sebagai contoh, dengan sudut ketinggian β_N sebesar 32° , maka dapat dihitung :

$$\delta = 90^\circ - 32^\circ$$

$$\delta = 58$$

Rumus ini memungkinkan kita untuk menghitung nilai sudut datang sinar matahari, yang pada gilirannya dapat digunakan dalam perhitungan-perhitungan lebih lanjut dan dalam penempatan panel surya. Namun, penting untuk dicatat bahwa rumus ini berlaku khusus untuk panel surya yang dapat diatur atau dilacak secara aktif menggunakan solar tracker. Pada panel surya yang dipasang dalam posisi tetap, sudut sinar matahari secara otomatis akan tegak lurus dengan posisi matahari pada saat tengah hari, tanpa perlu penyesuaian sudut yang disengaja. Sudut deklinasi matahari (δ) memengaruhi sudut insiden sinar matahari pada permukaan panel surya yang tetap. Pada panel surya yang tetap, sudut insiden sinar matahari akan berubah seiring perubahan posisi matahari selama hari

Sudut kemiringan panel surya juga berpengaruh terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan. Dalam pengujian ini, diperhatikan bahwa perubahan sudut panel surya menghasilkan perubahan pada tegangan dan arus yang terukur. Hal ini menunjukkan bahwa penyesuaian sudut panel surya dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi dan output listrik yang dihasilkan. Intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya juga memiliki peran penting dalam menentukan sudut optimal. Dalam pengujian ini, penggunaan alat tracker sederhana membantu dalam menentukan posisi matahari, yang memungkinkan penyesuaian sudut panel surya tegak lurus dengan arah cahaya matahari. Dengan demikian, penentuan sudut

optimal panel surya juga harus mempertimbangkan faktor intensitas cahaya di lokasi dan waktu tertentu.

4.2 Tegangan, Arus dan Intensitas Cahaya Terhadap Waktu Pada Panel

Surya 50 WP

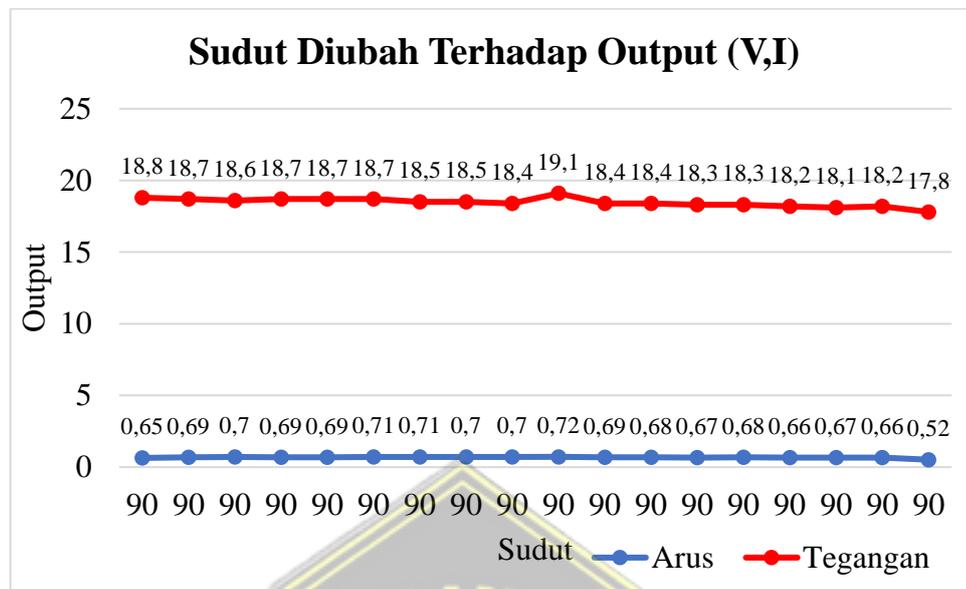
Dalam pengujian yang dilakukan, dua panel berbeda telah diuji yaitu panel dengan sudut tetap dan panel dengan sudut yang dapat diubah. Pengujian dilakukan dalam rentang waktu mulai pukul 07.30 hingga 16.00 WIB dengan penyesuaian sudut kemiringan panel untuk mengikuti pergerakan matahari. Berikut adalah hasil yang diperoleh untuk tegangan, arus, dan intensitas cahaya selama periode pengujian tersebut.

4.2.1 Panel Surya dengan Sudut 90° (Sudut Tetap atau Tidak Diubah)

Panel surya dengan sudut 90° memiliki sudut yang tetap vertikal terhadap permukaan tanah atau menghadap ke atas. Dalam pengujian yang dilakukan, dihasilkan data tegangan, arus, dan intensitas cahaya selama rentang waktu mulai dari Waktu 07.30 hingga 16.00 WIB. Berikut adalah hasil data yang diperoleh.

Tabel 4. 3 Data Tegangan, Arus dan Intensitas Cahaya Panel Surya dengan Sudut Tetap

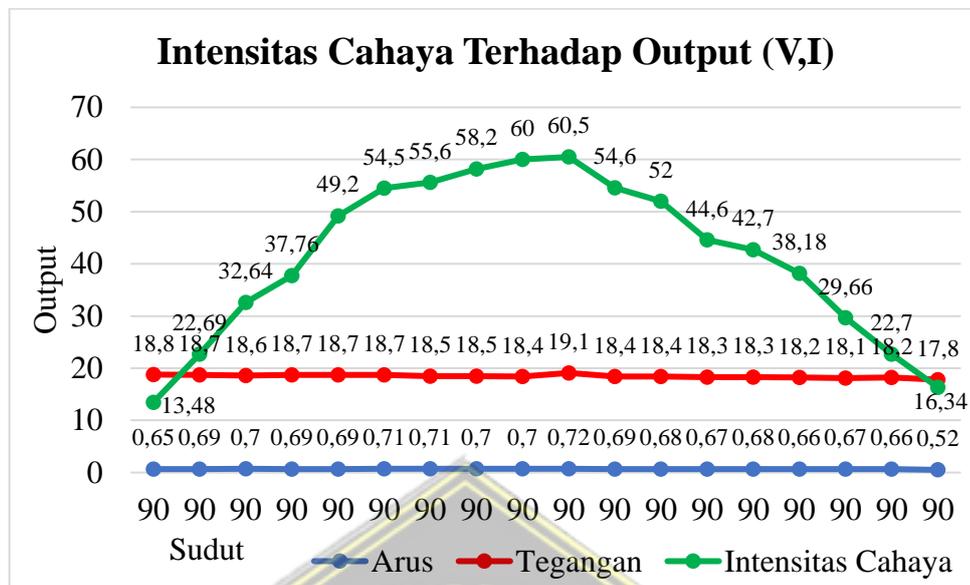
No	Waktu	Sudut	Arus (I _T)	Tegangan (V _T)	Intensitas Cahaya (kLUX)
1	07.30	90	0,65	18,8	13,48
2	08.00	90	0,69	18,7	22,69
3	08.30	90	0,7	18,6	32,64
4	09.00	90	0,69	18,7	37,76
5	09.30	90	0,69	18,7	49,2
6	10.00	90	0,71	18,7	54,5
7	10.30	90	0,71	18,5	55,6
8	11.00	90	0,7	18,5	58,2
9	11.30	90	0,7	18,4	60
10	12.00	90	0,72	19,1	60,5
11	12.30	90	0,69	18,4	54,6
12	13.00	90	0,68	18,4	52
13	13.30	90	0,67	18,3	44,6
14	14.00	90	0,68	18,3	42,7
15	14.30	90	0,66	18,2	38,18
16	15.00	90	0,67	18,1	29,66
17	15.30	90	0,66	18,2	22,7
18	16.00	90	0,52	17,8	16,34



Gambar 4. 2 Grafik Sudut Terhadap Output Pada Sudut Tetap

Berdasarkan analisis terhadap Gambar 4.2, dapat dijelaskan bahwa sudut yang paling ideal untuk tegangan terjadi pada pukul 12.00 WIB dengan sudut 90°. Pada saat tersebut, arus yang dihasilkan mencapai 0,72 A dan tegangan mencapai 19,1 V. Hal ini dapat dijelaskan dengan fakta bahwa pukul 12.00 WIB merupakan waktu di mana matahari berada pada posisi tertinggi di langit atau titik puncaknya.

Pada pukul 12.00 WIB, sudut panel surya tetap berada pada 90° menghadap ke atas. Meskipun sudut tersebut tidak mengoptimalkan penyerapan energi dibandingkan dengan sudut yang diubah berdasarkan arah posisi matahari, namun waktu tersebut tetap memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan waktu lainnya. Hal ini karena sinar matahari pada pukul 12.00 WIB memiliki intensitas yang paling optimal dan tegak lurus dengan posisi matahari yang berada di titik puncaknya.



Gambar 4.3 Grafik Intensitas Cahaya Terhadap Output Pada Sudut Tetap

Gambar 4.3 juga menggambarkan pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan. Pada pukul 07.30 WIB, intensitas cahaya mulai meningkat dan mencapai puncaknya pada pukul 12.00 WIB dengan nilai 60,5 klux. Setelah mencapai puncak, intensitas cahaya mulai menurun karena matahari bergerak menuju ufuk barat untuk terbenam, yang berarti bahwa intensitas cahaya dan panas yang diterima dari matahari sudah berkurang.

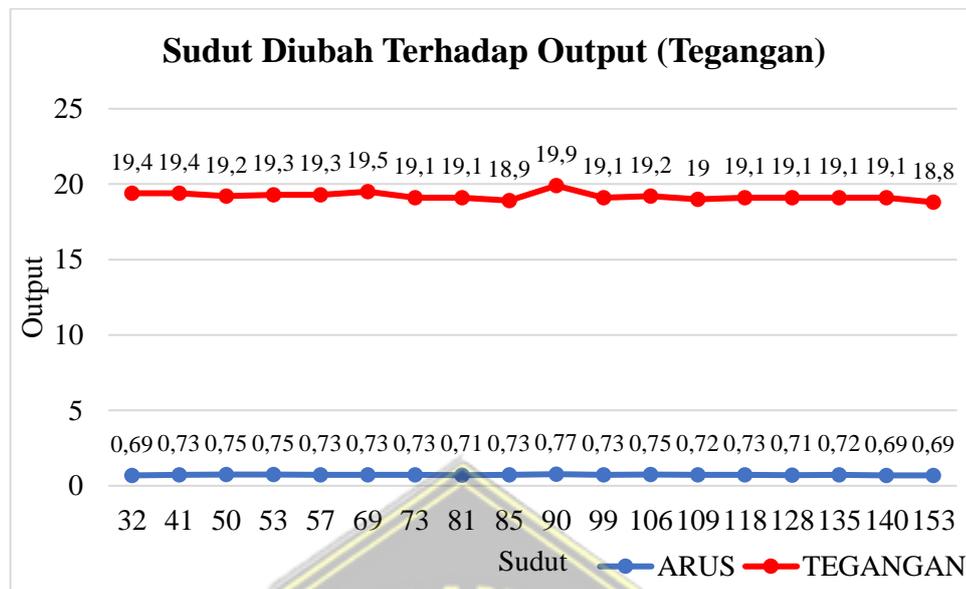
Dengan demikian, waktu pukul 12.00 WIB pada sudut 90° dapat dianggap sebagai waktu optimal untuk mencapai produktivitas maksimum dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam penelitian ini. Meskipun sudut tetap tidak mengoptimalkan penyerapan energi, waktu tersebut masih memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan waktu lainnya karena intensitas cahaya yang optimal pada posisi matahari yang tertinggi di langit.

4.2.2 Panel Surya Berdasarkan Sudut Kemiringan Diubah

Panel surya dengan sudut θ ini merubah sudut dengan rentang antara 0° - 180° berdasarkan dengan posisi arah matahari. Data ini diambil 30 menit sekali pada pukul Waktu 07.30-16.00 WIB. Berikut hasil data tegangan, arus, intensitas cahaya.

Tabel 4. 4 Data Tegangan, Arus dan Intensitas Cahaya Panel Surya dengan Sudut Diubah

No	Waktu	Sudut	Arus (A _U)	Tegangan (V _U)	Intensitas Cahaya (kLUX)
1	07.30	32	0,69	19,4	13,48
2	08.00	41	0,73	19,4	22,69
3	08.30	50	0,75	19,2	32,64
4	09.00	53	0,75	19,3	37,76
5	09.30	57	0,73	19,3	49,2
6	10.00	69	0,73	19,5	54,5
7	10.30	73	0,73	19,1	55,6
8	11.00	81	0,71	19,1	58,2
9	11.30	85	0,73	18,9	60
10	12.00	90	0,77	19,9	60,5
11	12.30	99	0,73	19,1	54,6
12	13.00	106	0,75	19,2	52
13	13.30	109	0,72	19	44,6
14	14.00	118	0,73	19,1	42,7
15	14.30	128	0,71	19,1	38,18
16	15.00	135	0,72	19,1	29,66
17	15.30	140	0,69	19,1	22,7
18	16.00	153	0,69	18,8	16,34

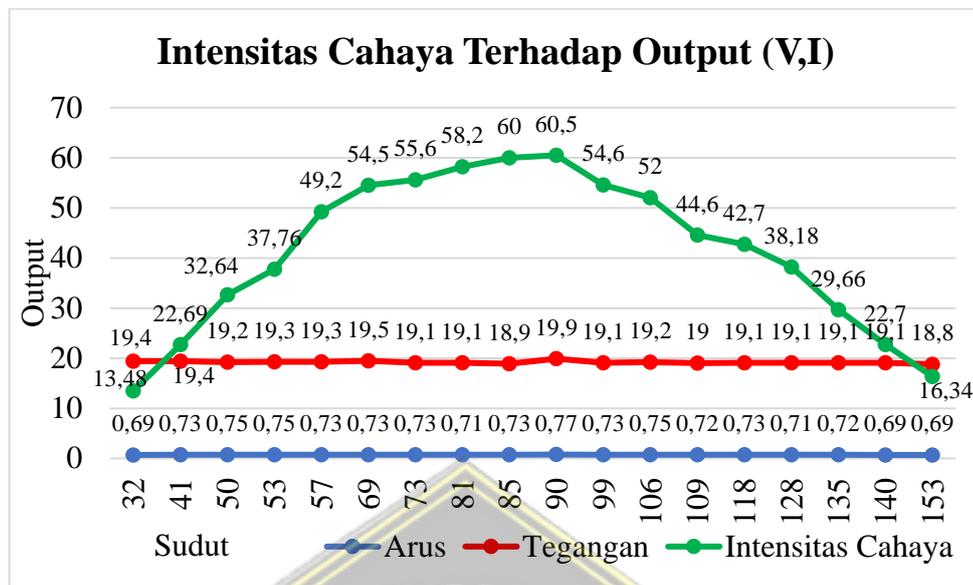


Gambar 4. 4 Grafik Waktu Terhadap Output Pada Sudut Kemiringan Diubah

Berdasarkan analisis terhadap Gambar 4.4, dapat dijelaskan bahwa waktu yang paling ideal untuk tegangan terjadi pada pukul 12.00 WIB. Pada saat tersebut, arus yang dihasilkan mencapai 0,77 A dan tegangan mencapai 19,9 V. Hal ini dapat dijelaskan dengan fakta bahwa pukul 12.00 WIB merupakan waktu di mana matahari berada pada posisi tertinggi di langit atau titik puncaknya.

Namun, pada pukul 16.00 WIB terlihat bahwa kondisi tidak ideal terjadi. Pada waktu ini, arus yang dihasilkan adalah 0,69 A dan tegangan hanya mencapai 18,8 V. Hal ini dapat dikaitkan dengan pergerakan matahari menuju posisi terbenam di ufuk barat. Ketika matahari turun dari titik puncaknya, intensitas sinar matahari yang diterima oleh panel surya akan berkurang, yang pada akhirnya dapat mengurangi produksi arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sistem PLTS.

Pada penelitian ini, panel surya mengubah sudutnya berdasarkan waktu dan posisi arah matahari dengan menggunakan tracker sederhana. Sudut panel surya memiliki rentang interval sudut dari 0° hingga 180° . Hasil tegangan dan arus pada sudut ini tidak stabil karena pengaruh dari beberapa faktor.



Gambar 4. 5 Grafik Intensitas Cahaya Terhadap Output Pada Sudut Kemiringan Diubah

Gambar 4.5 juga menggambarkan pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan. Pada pukul 07.30 WIB, intensitas cahaya mulai meningkat dan mencapai puncaknya pada pukul 12.00 WIB dengan nilai 60,5 klux. Setelah mencapai puncak, intensitas cahaya mulai menurun karena matahari bergerak menuju ufuk barat untuk terbenam, yang berarti bahwa intensitas cahaya dan panas yang diterima dari matahari sudah berkurang

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pukul 12.00 WIB adalah waktu yang optimal untuk mencapai produktivitas maksimum dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam penelitian ini. Sinar matahari pada saat itu memiliki intensitas yang paling optimal, sementara pada pukul 16.00 WIB, intensitas cahaya dan produksi arus serta tegangan yang dihasilkan oleh sistem PLTS mulai mengalami penurunan karena pergerakan matahari menuju posisi terbenam.

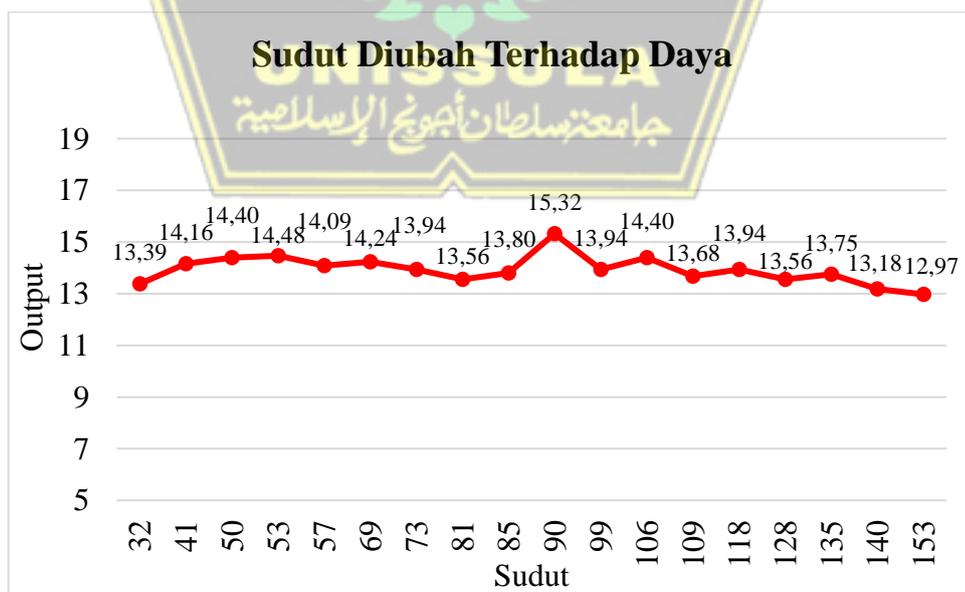
4.3 Daya Keluaran Terhadap Waktu pada Panel Surya

Berdasarkan dalam pengujian daya terhadap Waktu, dengan menggunakan rumus daya ($P = V \times I$), dapat dihitung daya yang dihasilkan oleh panel surya pada setiap interval waktu dengan sudut tetap atau yang diubah. Perubahan sudut ini memungkinkan pemahaman terhadap variasi daya yang terjadi sepanjang hari, yang dapat dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya matahari seiring dengan pergerakan matahari.

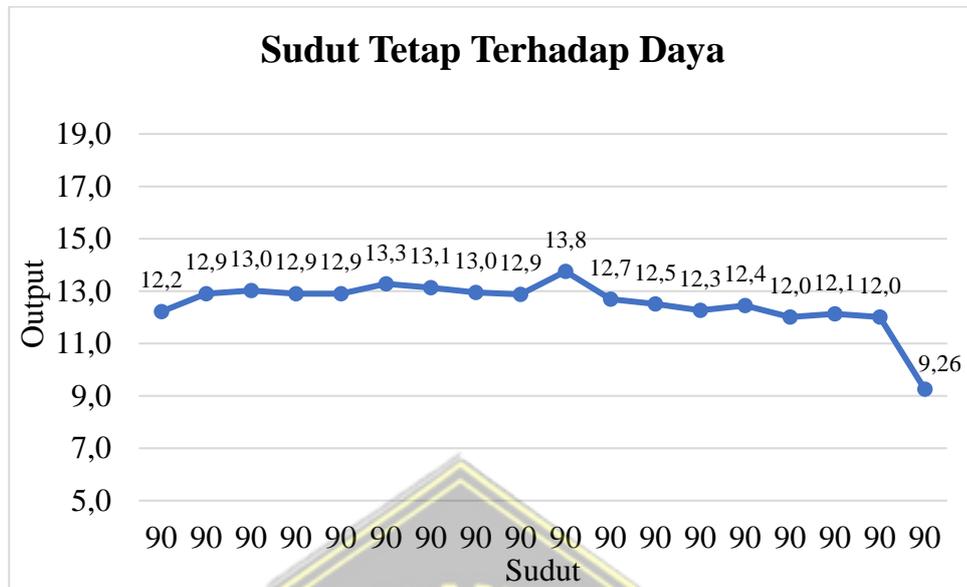
Berikut adalah hasil perhitungan dari daya yang diperoleh dari tegangan dan arus yang didapatkan pada panel dengan sudut tetap.

Tabel 4. 5 Data Daya Keluaran Panel Surya Tidak Diubah Sudutnya

No	Waktu	Sudut Tetap	Sudut Diubah	Arus (A_T)	Arus (A_U)	Tegangan (V_T)	Tegangan (V_U)	Daya (W_T)	Daya (W_U)	Suhu ($^{\circ}C_T$)	Suhu ($^{\circ}C_U$)	Intensitas Cahaya (kLUX)
1	07.30	90	32	0,65	0,69	18,8	19,4	12,22	13,39	34,1	43,6	13,48
2	08.00	90	41	0,69	0,73	18,7	19,4	12,77	14,16	36,5	46,2	22,69
3	08.30	90	50	0,7	0,75	18,6	19,2	13,02	14,40	43,5	54,5	32,64
4	09.00	90	53	0,69	0,75	18,7	19,3	12,90	14,48	44,1	55	37,76
5	09.30	90	57	0,69	0,73	18,7	19,3	12,90	14,09	43,3	64,9	49,2
6	10.00	90	69	0,71	0,73	18,7	19,5	13,28	14,24	50,3	55,1	54,5
7	10.30	90	73	0,71	0,73	18,5	19,1	13,14	13,94	52,6	56,4	55,6
8	11.00	90	81	0,7	0,71	18,5	19,1	12,95	13,56	54,3	58,5	58,2
9	11.30	90	85	0,7	0,73	18,4	18,9	12,88	14,18	54	60,8	60
10	12.00	90	90	0,72	0,77	19,1	19,9	13,75	15,32	50,8	56,6	60,5
11	12.30	90	99	0,69	0,73	18,4	19,1	12,70	13,94	55,8	67,7	54,6
12	13.00	90	106	0,68	0,75	18,4	19,2	12,51	14,40	54,4	62,3	52
13	13.30	90	109	0,67	0,72	18,3	19	12,26	13,68	53	59,5	44,6
14	14.00	90	118	0,68	0,73	18,3	19,1	12,44	13,94	51,6	57,9	42,7
15	14.30	90	128	0,66	0,71	18,2	19,1	12,01	13,56	49,6	54,3	38,18
16	15.00	90	135	0,67	0,72	18,1	19,1	12,13	13,75	47,7	54	29,66
17	15.30	90	140	0,66	0,69	18,2	19,1	12,01	13,18	38,7	51,3	22,7
18	16.00	90	153	0,52	0,69	17,8	18,8	9,26	12,97	40,1	48,3	16,34



Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut Diubah Terhadap Keluaran Daya



Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Perubahan Sudut Tetap Terhadap Keluaran Daya
Berdasarkan gambar 4.6 dan 4.7, diperoleh dengan perhitungan daya menggunakan rumus

$$P = V \times I$$

$$P_u = V \times I$$

$$P_u = 19,9 \times 0,77$$

$$P_u = 15,32$$

$$P_t = V \times I$$

$$P_t = 19,1 \times 0,72$$

$$P_t = 13,75$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai daya yang paling optimal terjadi pada pukul 12.00 WIB dengan panel sudut 90°, diperoleh nilai daya optimal sebesar 13,75 Watt, dan pada panel sudut diubah, daya optimal diperoleh nilai daya sebesar 15,32 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sudut panel surya mempengaruhi jumlah daya yang dihasilkan, dan beberapa sudut tertentu dapat memberikan daya yang lebih optimal.

Namun, pada pukul 16.00 WIB sore hari, terjadi penurunan daya yang tidak optimal. Penurunan ini disebabkan oleh adanya intensitas cahaya matahari yang lebih rendah pada saat itu dibandingkan dengan siang hari. Hasil yang tidak stabil

dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti material dari panel surya, intensitas cahaya matahari, atau kondisi tempat pada saat dilakukan penelitian. Dalam hal ini, hasil dari pengujian daya dengan sudut yang diubah menunjukkan kinerja yang jauh lebih optimal daripada pengujian dengan panel sudut tetap. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan panel surya yang dapat menyesuaikan posisi dengan pergerakan matahari lebih efektif dalam menghasilkan daya, termasuk dalam hal tegangan dan arus yang dihasilkan. Hasil ini memberikan dukungan untuk penggunaan mekanisme pelacakan matahari pada instalasi panel surya untuk memaksimalkan efisiensi dan daya yang dihasilkan.

Untuk mengetahui perbandingan dari kedua panel, dilakukan perhitungan persentase guna mengetahui besarnya perubahan nilai, berikut adalah persentase perbandingan daya titik puncak (pukul 12.00 WIB) dari kedua panel

$$\text{Peningkatan Kapasitas Daya} = \frac{P_{Ubah} - P_{Tetap}}{P_{Ubah}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Kapasitas Daya} = \frac{15,32 - 13,75}{15,32} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Kapasitas Daya} = \frac{1,57}{15,32} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Kapasitas Daya} = 0,10 \times 100\%$$

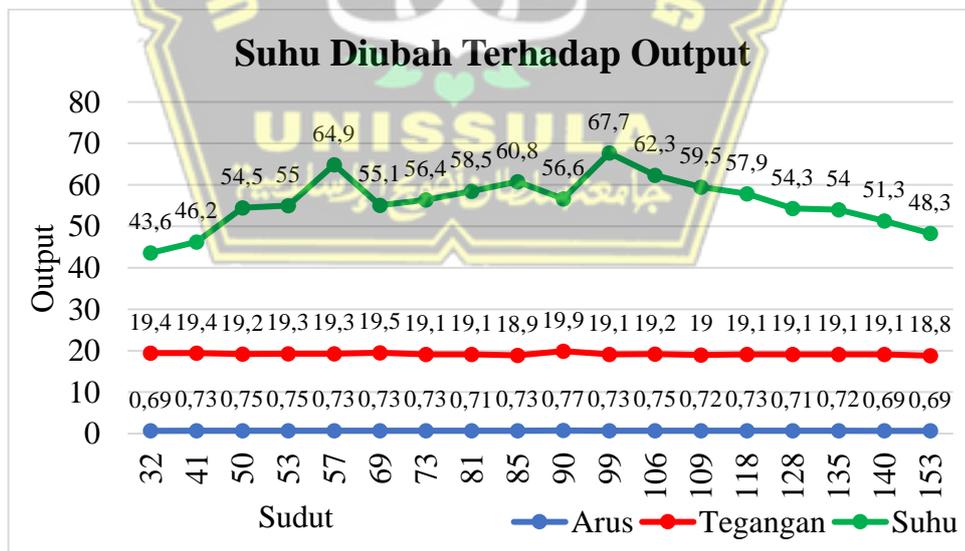
$$\text{Peningkatan Kapasitas Daya} = 10 \%$$

4.4 Temperatur Panel Surya Terhadap Waktu Panel Surya 50 Wp

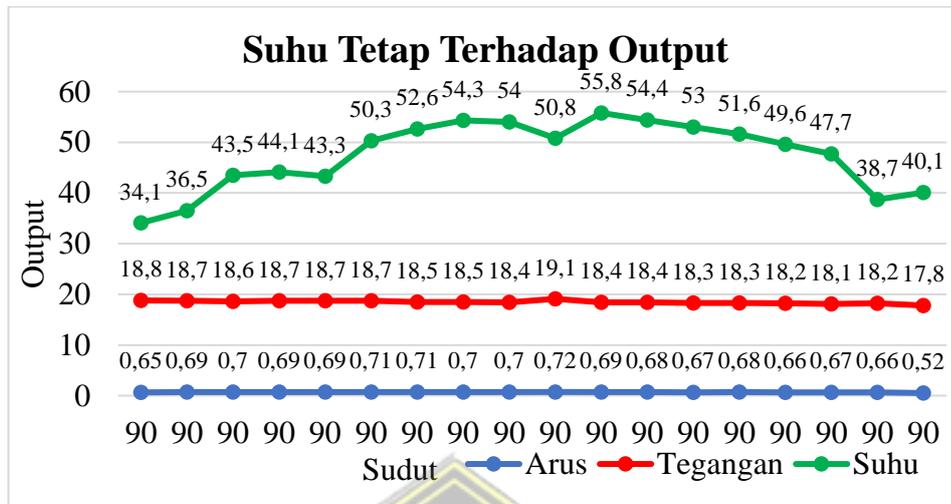
Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, tegangan pada panel surya diketahui memiliki pengaruh terhadap suhu atau temperatur panel. Perubahan suhu pada panel dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi panel tersebut. Berikut adalah pengaruh suhu terhadap kedua panel yang berbeda.

Tabel 4. 6 Temperatur Panel Surya Sudut Tetap

No	Waktu	Arus (A _T)	Arus (A _U)	Tegangan (V _T)	Tegangan (V _U)	Suhu (°C _T)	Suhu (°C _U)	Intensitas Cahaya (kLUX)
1	07.30	0,65	0,69	18,8	19,4	34,1	43,6	13,48
2	08.00	0,69	0,73	18,7	19,4	36,5	46,2	22,69
3	08.30	0,7	0,75	18,6	19,2	43,5	54,5	32,64
4	09.00	0,69	0,75	18,7	19,3	44,1	55	37,76
5	09.30	0,69	0,73	18,7	19,3	43,3	64,9	49,2
6	10.00	0,71	0,73	18,7	19,5	50,3	55,1	54,5
7	10.30	0,71	0,73	18,5	19,1	52,6	56,4	55,6
8	11.00	0,7	0,71	18,5	19,1	54,3	58,5	58,2
9	11.30	0,7	0,73	18,4	18,9	54	60,8	60
10	12.00	0,72	0,77	19,1	19,9	50,8	56,6	60,5
11	12.30	0,69	0,73	18,4	19,1	55,8	67,7	54,6
12	13.00	0,68	0,75	18,4	19,2	54,4	62,3	52
13	13.30	0,67	0,72	18,3	19	53	59,5	44,6
14	14.00	0,68	0,73	18,3	19,1	51,6	57,9	42,7
15	14.30	0,66	0,71	18,2	19,1	49,6	54,3	38,18
16	15.00	0,67	0,72	18,1	19,1	47,7	54	29,66
17	15.30	0,66	0,69	18,2	19,1	38,7	51,3	22,7
18	16.00	0,52	0,69	17,8	18,8	40,1	48,3	16,34



Gambar 4. 8 Suhu Terhadap Output pada Sudut Diubah



Gambar 4. 9 Suhu Terhadap Output pada Sudut Tetap

Berdasarkan Gambar 4.8 dan 4.9, diperhatikan bahwa suhu pada panel berpengaruh terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan. Semakin tinggi tegangan dan arus yang didapatkan, suhu pada panel akan berkurang. Dapat dilihat pada Tabel 4.6 dimana pada pukul 12.00 dihasilkan tegangan puncak atau tegangan maksimal. Sehingga suhu yang dihasilkan pada pukul 12.00 rendah. Misalnya, pada panel tetap suhu yang dihasilkan mencapai $50,8^{\circ}\text{C}$. Sedangkan panel yang diubah mencapai suhu $56,6^{\circ}\text{C}$. Hal ini terjadi karena panel surya memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi pada suhu rendah. Oleh karena itu, ketika tegangan dan arus tinggi, di mana panel bekerja dengan efisiensi yang tinggi, suhu panel cenderung tetap rendah.

Pengaruh suhu terhadap tegangan keluaran juga dapat dipengaruhi oleh kondisi cuaca pada saat itu. Pada pagi hari, sebelum panel terkena sinar matahari dan beban kerja belum ada, suhu panel cenderung rendah. Namun, saat mencapai puncak pada pukul 12.00 WIB, suhu panel dapat turun karena semakin tinggi tegangan, suhu panel akan semakin rendah. Setelah melewati pukul 12.00 WIB, suhu panel dapat turun karena intensitas cahaya matahari yang mulai berkurang seiring dengan matahari terbenam. Penelitian ini menunjukkan bahwa suhu panel surya memiliki dampak signifikan terhadap tegangan keluaran yang dihasilkan. Pengukuran suhu panel dan pemahaman tentang efisiensi konversi energi pada suhu yang berbeda membantu dalam mengoptimalkan kinerja panel surya dalam menghasilkan energi listrik dengan efisiensi yang tinggi

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

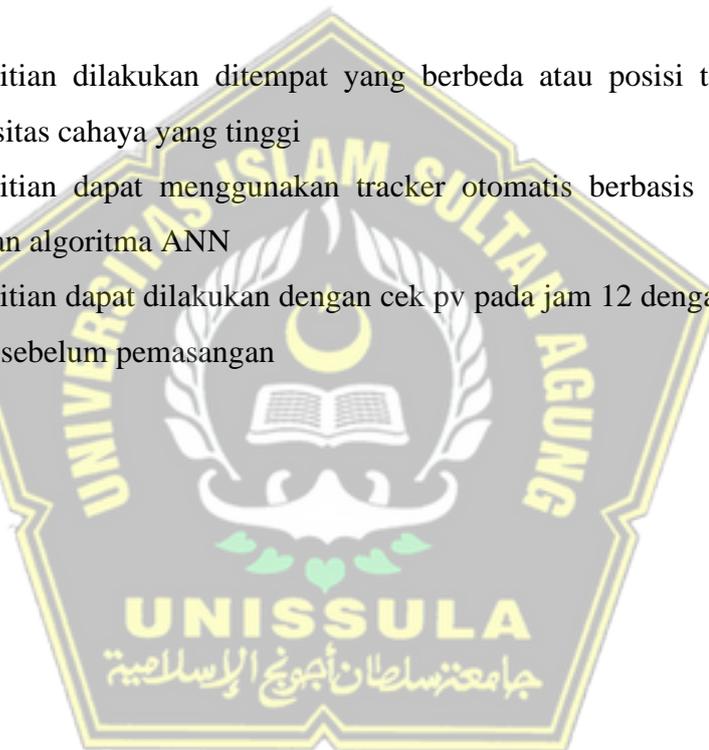
Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dibahas sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Nilai tegangan dan arus sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Pada pukul 12.00 WIB, dengan intensitas cahaya matahari sebesar 60,5kLux, dihasilkan pada sudut tetap 90° , tegangan optimal yang terukur adalah 19,1 V dengan arus optimal sebesar 0,72 A. Pada sudut berubah 0° hingga 180° , tegangan optimal adalah 19,9 V dengan arus optimal sebesar 0,77 A.
2. Dalam pengukuran panel surya di Semarang dengan posisi matahari berada di utara, sudut optimal untuk panel sekitar pukul 10.30-11.00 WIB dengan sudut kemiringan panel antara 57° hingga 99° (panel sudut diubah).
3. Besaran nilai daya keluaran berdasarkan perubahan sudut kemiringan panel ataupun panel tetap berbanding lurus dengan intensitas cahaya, arus dan tegangan. Nilai daya paling optimal adalah 15,32 pada pukul 12.00 dengan sudut 90° .
4. Besaran nilai suhu keluaran berdasarkan perubahan sudut kemiringan panel ataupun panel tetap berbanding terbalik dengan intensitas cahaya, arus dan tegangan.
5. Panel surya dengan sudut berubah antara 0° hingga 180° menghasilkan nilai keluaran yang lebih optimal daripada panel dengan sudut tetap 90° , dimana nilai keluaran sudut θ lebih besar daripada sudut tetap. Dengan memvariasikan sudut panel surya, kita dapat mengoptimalkan penyerapan cahaya matahari pada berbagai kondisi sinar matahari.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dibahas sebelumnya dapat disarankan :

1. Penelitian dilakukan pada saat cuaca panas terik, agar hasil yang didapatkan lebih maksimal
2. Penelitian dilakukan ditempat yang tidak terhalang oleh pohon, atap atau yang lainnya.
3. Menggunakan scc (solar charge controller) supaya hasil keluaran lebih stabil
4. Penelitian dilakukan ditempat yang berbeda atau posisi tempat dengan intensitas cahaya yang tinggi
5. Penelitian dapat menggunakan tracker otomatis berbasis Arduino serta dengan algoritma ANN
6. Penelitian dapat dilakukan dengan cek pv pada jam 12 dengan posisi tegak lurus sebelum pemasangan



DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Assiddiq, S. Jurusan, T. Mesin, P. Kotabaru, J. Raya, and S. Km, "PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP EFISIENSI SEL FOTOVOLTAIK (Influence Of Slope Angle On Efficiency Of The Photovoltaic Cell)," *Media Sains*, vol. 10, no. 2, 2017.
- [2] A. K. Albahar and M. F. Haqi, "PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA (PV) TERHADAP KELUARAN DAYA," *Ilmiah Elektrokrisna*, vol. 8, p. 122, 2020, [Online]. Available: <https://journal.teknikunkris.ac.id/index.php/elektro/article/download/113/102>
- [3] A. Makkulau, "ANALISIS PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP ARUS KELUARAN PADA PHOTOVOLTAIC DENGAN MENGGUNAKAN REGRETION QUADRATIC METHOD," *JURNAL ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 10, no. 2, 2018.
- [4] E. Prasetyono, R. W. Wicaksana, N. A. Windarko, and Moh. Z. Efendi, "Pemodelan dan Prediksi Daya Output Photovoltaic secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 4, no. 2, pp. 190–199, Sep. 2015, doi: 10.25077/JNTE.V4N2.163.2015.
- [5] S. Kurniati dan Sudirman Jurusan Teknik Elektro, F. Sains dan Teknik, U. Nusa Cendana, K. Jl Adisucipto, and N. Tenggara Timur, "ANALISIS EFISIENSI KELUARAN DAYA SOLAR SEL BERDASARKAN SUDUT KEMIRINGAN," *Media Elektro Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 85–88, Apr. 2013, doi: 10.35508/JME.V0I0.6267.
- [6] A. Kurniawan, Y. Yoserizal, and F. A.-I. A. Putra, "ANALISA EFEK KEMIRINGAN PEMASANGAN TERHADAP LUARAN DAYA RANGKAIAN PANEL SURYA," *SISTEM Jurnal Ilmu Ilmu Teknik*, vol. 15, no. 3, pp. 36–42, Dec. 2019, doi: 10.37303/SISTEM.V15I3.199.
- [7] M. S. ing. Bagus Ramadhani, *Buku Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jakarta: GIZ, 2018.
- [8] J. HUTAURUK, "STUDI REALISASI PLTS ON-GRID DI UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN MEDAN," 2022.

- [9] A. Wasri Hasanah, T. Koerniawan, T. Elektro, and S. Tinggi Teknik -PLN, “Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off-Grid Di STT-PLN,” *jurnal.itpln.ac.id*, vol. 10, no. 2, pp. 1–93, 2018, Accessed: Feb. 12, 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.itpln.ac.id/energi/article/view/211>
- [10] P. Pawitra Teguh Dharma Priatam, M. Fitra Zambak, and P. Harahap, “Analisa Radiasi Sinar Matahari Terhadap Panel Surya 50 WP,” vol. 4, no. 1, pp. 48–54, 2021, doi: 10.30596/rele.v4i1.7825.
- [11] M. R. Andriani Parastiwi, Ratna Ika Putri, Supriatna Adhisuwignjo, *Photovoltaic Terapan (Teknologi dan Implementasi)*, Pertama. Malang: POLINEM PRESS, 2018. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=_DJyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=buku+photovoltaic&ots=z5GDuHdRSk&sig=eAMGfvQwDiT4-zp_Bv51VfN7jjk&redir_esc=y#v=onepage&q=buku+photovoltaic&f=false
- [12] S. Racharla and K. Rajan, “Solar tracking system—a review,” *International Journal of Sustainable Engineering*, vol. 10, no. 2. Taylor and Francis Ltd., pp. 72–81, Mar. 04, 2017. doi: 10.1080/19397038.2016.1267816.
- [13] K. Anusha and S. Chandra Mohan Reddy, “Design and Development of Real Time Clock based efficient Solar Tracking System.” [Online]. Available: www.ijera.com
- [14] “Posisi Matahari | PVEducation,” *Christiana Honsberg, Stuart Bowden*. <https://www.pveducation.org/id/pvcdrom/posisi-matahari> (accessed Jul. 30, 2023).
- [15] S. Ali and T. M. Azis Pandria, “Penentuan Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya Untuk Wilayah Meulaboh,” vol. 5, no. 1, 2019.
- [16] “What is Infrared? – Striking Energy.” <https://striking.co.za/pages/learn-infrared> (accessed Aug. 22, 2023).
- [17] “Indeks Sinar Ultraviolet (UV) | BMKG.” <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/indeks-uv.bmkg> (accessed Aug. 22, 2023).

- [18] R. H.-M. S. and T. Journal and U. 2021, “Analisa pengaruh sudut kemiringan panel surya 100 wp terhadap daya listrik,” *e-journal.ivet.ac.id*, vol. 1, no. 2, pp. 67–76, 2021, doi: 10.31331/maristec.v1i2.
- [19] “Charting The Sun’s Motion In Relation To Your Home And Permaculture Site - The Permaculture Research Institute,” *Ravindra Krishnamurthy*, 2015. <https://www.permaculturenews.org/2015/10/23/charting-the-suns-motion-in-relation-to-your-home-and-permaculture-site/> (accessed Jul. 20, 2023).

