

Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Penerimaan Iradiasi Matahari Dan Daya Keluaran Yang Dihasilkan

Dihya Ahmad Rasyid Ridho¹, Rusda², Marson Ady Putra³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. DR. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Lipan, Samarinda, Kalimantan Timur

E-mail: rusda@polnes.ac.id

Abstrak- Saat ini dunia banyak dihadapkan oleh tantangan global, salah satunya adalah pemanfaatan energi matahari sebagai energi terbarukan. Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi besar memanfaatkan energi matahari dengan menggunakan panel surya. Untuk dapat memaksimalkan energi matahari yang bisa diterima oleh panel surya perlu diketahui sudut kemiringan yang optimal dalam pemasangannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan dengan melihat perubahan tegangan, arus, dan daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya sebesar 50 WP terhadap perubahan sudut kemiringan panel surya. Penelitian dilakukan secara langsung selama beberapa waktu dengan membandingkan sudut kemiringan panel surya 0°, 10°, 30° dan 45°. Hasil dari pengujian ini didapatkan bahwa sudut kemiringan akan memengaruhi besar iradiasi yang diterima panel dan besar daya keluaran yang dihasilkan. Sudut kemiringan yang efektif pada lokasi pengujian ini adalah 10 derajat dibanding sudut lainnya. Sudut 10 derajat dapat menerima iradiasi matahari terbesar sebesar 1291 watt/ m², dengan daya keluaran yang dapat dihasilkan sebesar 50.81 watt pada kondisi cuaca cerah.

Kata kunci : Panel Surya, Energi Matahari, Sudut Kemiringan

I. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini dunia dihadapkan oleh banyaknya tantangan *global*, salah satunya adalah pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan untuk menggantikan bahan bakar fosil [1], [2], [3]. Hal ini dikarenakan bahan bakar fosil tidak dapat digunakan selamanya karena sumbernya yang terbatas dan dapat habis suatu waktu, selain itu bahan bakar fosil ini dapat menyebabkan masalah di masyarakat seperti pencemaran lingkungan dan pemanasan *global* [2], [3]. Tidak seperti bahan bakar fosil, penggunaan energi matahari sebagai sumber energi tidak berkontribusi dalam meninggalkan jejak karbon pada lingkungan [2].

Letak astronomis dari negara Indonesia yang berada pada daerah ekuator atau khatulistiwa dengan titik koordinat 6° LU - 11° LS dan 95° BT - 141° BT membuat negara Indonesia memiliki iklim tropis. Hal ini mengakibatkan seluruh daerah Indonesia selalu mendapat sinar matahari sepanjang tahun dan membuat Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk menggunakan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan [3], [4]. Potensi energi cahaya matahari yang bisa dihasilkan di Indonesia perharinya diperkirakan sekitar 4.5-4.8 kWh/m² [5], [6].

Salah satu cara untuk memanfaatkan energi matahari adalah menggunakan modul panel surya sebagai komponen utama untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya [1], [3], [5], [6]. Dalam penggunaannya, besar daya keluaran dan efisiensi panel surya ini sangat dipengaruhi oleh besarnya iradiasi matahari yang dapat diserap oleh panel surya [1], [3], [5], [6], [7]. Besar kecilnya iradiasi matahari yang dapat diserap oleh panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah sudut kemiringan pemasangan panel surya [1], [2], [3], [7], [8].

II. TINJAUAN PUSTAKA

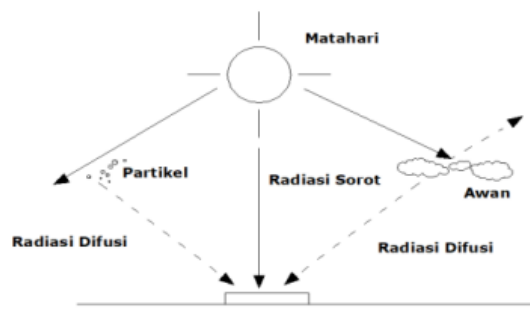
A. Energi Matahari

Energi matahari merupakan sumber energi alam yang membantu proses-proses di bumi baik secara fisis maupun biologis. Energi matahari ini disebar dalam bentuk pancaran radiasi untuk dapat sampai ke bumi dikarenakan di antara matahari dan bumi terdapat ruang hampa. Radiasi merupakan bentuk proses dari energi matahari (panas) yang dipancarkan tanpa perlu membutuhkan zat perantara untuk merambat. Radiasi ini dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang mana gelombang ini merambat dalam bentuk medan listrik dan medan magnet, sehingga tidak perlu memerlukan zat perantara dan dapat merambat dengan cepat [9], [10].

Saat mencapai bumi radiasi matahari disebar dan direfleksi oleh atmosfer sehingga mengalami pelemahan. Terdapat tiga jenis radiasi berdasarkan dampak penyebaran oleh atmosfer ini yaitu :

1. Radiasi Sorot : Radiasi sorot merupakan radiasi yang tidak mengalami perubahan arah, pada cuaca cerah nilai radiasi sorot sebesar 0.9 kW/m².
2. Radiasi Difusi : Radiasi difusi merupakan radiasi yang telah mengalami perubahan arah dikarenakan oleh adanya refleksi dari atmosfer, pada cuaca cerah besar radiasi ini adalah 0.1 kW/m².
3. Radiasi Global : Radiasi global merupakan penjumlahan dari radiasi sorot dan radiasi difusi.

Penyebaran radiasi ini dapat dilihat pada [Gambar 1](#). Radiasi matahari dapat diukur dengan didasari oleh fluks yang jatuh pada permukaan bumi atau benda dengan posisi horizontal secara tegak lurus. Fluks dari radiasi matahari ini sendiri dapat diukur dengan menggunakan alat ukur *solar power meter* [11], [12].



Gambar 1. Sebaran Radiasi Pada Permukaan Bumi.

B. Posisi Matahari

Rotasi dan revolusi bumi terhadap matahari sendiri selain berpengaruh terhadap besarnya radiasi yang dipancarkan terhadap bumi, juga berpengaruh terhadap posisi matahari yang dapat dilihat dari bumi. Hal ini kemudian akan berdampak pada posisi panel surya yang akan digunakan. Posisi matahari ini perlu dipertimbangkan agar panel surya dapat bekerja dengan menghasilkan daya keluaran secara optimal [13].

Terdapat parameter-parameter sudut untuk dapat menentukan posisi matahari yang dapat dilihat dari bumi, yaitu:

1. Sudut deklinasi (δ), merupakan sudut posisi matahari terhadap garis equator/khatulistiwa. Sudut ini dapat dicari dengan persamaan berikut:

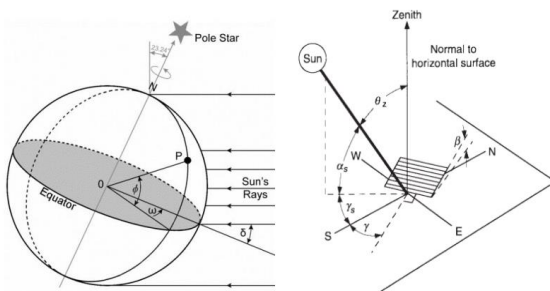
$$\delta = 23.45 \sin \left(360^\circ \left(\frac{284+n}{365} \right) \right) \quad (1)$$

Keterangan:

δ = Sudut Deklinasi ($^\circ$)

n = Jumlah hari dalam setahun dimulai dari 1 Januari

2. Sudut solar azimuth (γ_s), merupakan sudut proyeksi radiasi matahari terhadap kutub utara dan selatan secara horizontal pada suatu bidang. Sudut ini bernilai positif untuk arah barat.
3. Sudut jam (ω), merupakan sudut yang diakibatkan dari rotasi bumi terhadap matahari dengan perubahan nilai 15° untuk setiap jamnya dimana dari matahari terbit hingga pukul 12.00 bernilai negatif dan dari pukul 12.00 hingga terbenam bernilai positif.
4. Sudut zenith (θ_z), merupakan sudut antara radiasi matahari pada permukaan secara horizontal terhadap garis normal.



Gambar 2. Sudut-Sudut Posisi Matahari Terhadap Bidang Miring

Posisi matahari yang relatif atau berubah-ubah terhadap objek yang berada di bumi dapat dijelaskan dalam beberapa sudut antara lain sudut deklinasi, sudut jam matahari, sudut zenith, dan sudut azimuth matahari [14].

Sudut deklinasi merupakan salah satu sudut yang berpengaruh terhadap posisi panel surya. Untuk menghitung sudut deklinasi, dapat dilakukan dengan menggunakan .

Setelah mengetahui sudut deklinasi, selanjutnya dapat dicari sudut jam matahari pada waktu atau jam yang telah ditentukan dengan menggunakan berikut:

$$\omega = (ts - 12) \frac{360}{24} \quad (2)$$

Keterangan:

ω = Sudut jam matahari ($^\circ$)

ts = Jam atau waktu setempat

Dari nilai sudut jam matahari yang telah diketahui dapat digunakan untuk mencari sudut zenith dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\theta_z = \cos^{-1}(\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta) \quad (3)$$

Keterangan:

θ_z = Sudut zenith ($^\circ$)

δ = Sudut deklinasi matahari ($^\circ$)

ω = Sudut jam matahari ($^\circ$)

φ = Latitude suatu daerah ($^\circ$)

Hasil dari Persamaan 1, 2, 3 yang telah didapat, kemudian dapat digunakan untuk menghitung sudut azimuth matahari. Adapun persamaan untuk menghitung sudut azimuth matahari adalah sebagai berikut:

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

γ_s = Sudut azimuth matahari ($^\circ$)

δ = Sudut deklinasi matahari ($^\circ$)

ω = Sudut jam matahari ($^\circ$)

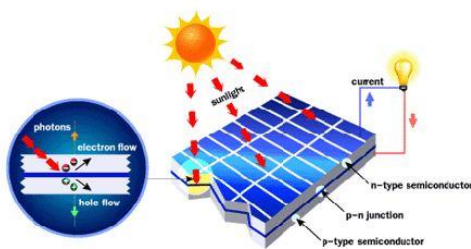
θ_z = Sudut zenith ($^\circ$)

C. Sel Surya

Sel surya merupakan bahan semikonduktor yang dapat merubah energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik atau yang biasa disebut *photovoltaic*. Sel surya sendiri awalnya ditemukan oleh Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel melihat adanya efek *photovoltaic* ini saat semikonduktor disinari oleh sinar matahari pada larutan elektrolit [9], [10]. Sel surya biasanya terbuat dari bahan semikonduktor berupa silikon yang memiliki dua lapisan yang dipisahkan oleh penghubung dimana lapisan atas merupakan silikon tipe-n dan lapisan bawah merupakan silikon tipe-p [9], [10]. Lapisan atas atau tipe-n ini merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron sehingga bermuatan negatif sedangkan lapisan bawah atau tipe-p merupakan semikonduktor yang bersifat positif karena kelebihan muatan positif [15].

Sel surya bekerja mengonversi energi saat terjadi efek fotolistrik, efek ini adalah proses terjadinya pelepasan elektron

saat sinar matahari mengenai permukaan semikonduktor. Cahaya matahari mengandung partikel yang disebut *photon* yang memiliki energi yang besarnya tergantung panjang gelombang [16]. Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan *p-n junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang [17].



Gambar 3. Ilustrasi Cara Kerja Sel Surya

D. Panel Surya

Panel surya merupakan kumpulan sel surya yang disusun sedemikian rupa agar menyerap sinar matahari dengan efektif. Dalam prosesnya, matahari akan menyinari panel surya yang kemudian sel surya akan mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses fotoelektrik. Adapun listrik yang dihasilkan oleh panel surya adalah arus listrik searah atau *direct current* (DC). Panel surya memiliki beberapa jenis yang dibedakan dari kemampuannya [18].

1. Monocrystalline

Jenis ini terbuat dari silikon murni sebagai bahan utamanya dan secara fisik memiliki warna sel yang gelap. Efisiensi jenis ini cukup tinggi yaitu 16-17%. Kelemahan dari jenis ini adalah kurang mampu untuk menyerap sinar disaat intensitas cahaya matahari kurang sehingga efisiensinya akan menurun

2. Polycrystalline

Panel surya jenis ini memiliki harga yang lebih murah dibanding *monocrystalline* karena bahan yang digunakan tidak semurni dari jenis *monocrystalline*. Efisiensi jenis ini juga lebih kecil dibanding *monocrystalline* yaitu sebesar 12-14%. Akan tetapi jenis ini memiliki kelebihan untuk tetap menyerap sinar matahari walaupun intensitasnya kurang.

3. Thin Film Photovoltaic

Berbeda dengan *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*, Thin film Fotovoltaik merupakan panel surya dengan struktur lapisan yang tipis

E. Daya dan Efisiensi Panel Surya

Untuk mengetahui daya dan efisiensi panel surya, dapat dilakukan penghitungan dengan beberapa persamaan

menggunakan data yang didapat saat melakukan percobaan [19].

Untuk mengetahui efisiensi panel surya, perlu diketahui nilai daya *input* dan daya *output*-nya terlebih dahulu. Untuk mencari daya *input* adalah dengan mengalikan intensitas radiasi matahari yang diterima panel dengan luas permukaan panel. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$P_{in} = E \times A \quad (5)$$

Keterangan:

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

E = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = Luas permukaan panel surya (m²)

Sedangkan daya *output* dapat dicari dari perkalian tegangan rangkaian terbuka dengan arus hubung singkat dan *Fill Factor* dari panel surya, dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times F \quad (6)$$

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*

Untuk mencari *Fill Factor* dapat digunakan persamaan sebagai berikut [20].

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (7)$$

Keterangan:

FF = *Fill Factor*

V_{oc} = Tegangan dengan sirkit terbuka (Volt)

Dari daya *input* dan daya *output* yang telah didapat maka efisiensi panel surya dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

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

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

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Politeknik Negeri Samarinda dimulai dari bulan Maret hingga bulan Juli tahun 2023.

B. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang penulis ambil pada penelitian ini adalah data kuantitatif. Data kuantitatif merupakan data yang dapat diambil dengan cara pengukuran dan perhitungan. Data yang diambil berupa nilai tegangan, arus dan iradiasi matahari.

C. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada saat melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya

Panel surya adalah alat untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *polycrystalline* 50 Watt dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

TABEL 1
SPESIFIKASI PANEL SURYA

Maximum Power	50 Watt
Maximum Power Voltage	17,6 Volt
Maximum Power Current	2,85 Ampere
Open Circuit Voltage	22,50 Volt
Short Circuit Current	3,04 Ampere
Dimension	700 x 510 x 30 mm

Alat yang digunakan pada saat melakukan penelitian ini yaitu :

1. Volt Meter

Voltmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan pada suatu rangkaian maupun beban, baik tegangan arus bolak-balik maupun arus searah

2. Tang Ampere atau *Clamp Meter*

Tang Ampere adalah alat yang digunakan untuk mengetahui besar arus yang mengalir pada sebuah kabel dengan menggunakan prinsip induksi magnetik.

3. Solar Power Meter

Solar Power Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur besar iradiasi matahari terhadap benda yang terkena sinar matahari.

4. Busur Derajat dan Kompas pada *handphone*

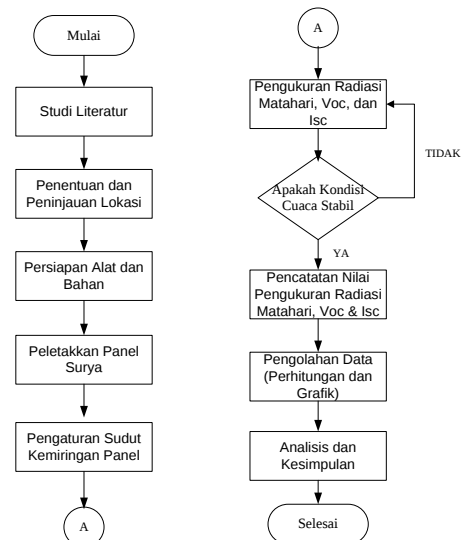
Busur derajat dan kompas pada *handphone* digunakan untuk mengatur kemiringan panel surya

5. Aplikasi *Sun Locator*

Aplikasi ini digunakan untuk mengetahui besaran nilai latitude dan longitude lokasi pengujian.

D. Diagram Alur

Berikut adalah alur penelitian yang dilakukan dari mulai penelitian, persiapan, pengolahan data, hingga selesai.



Gambar. 1. Diagram alur penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum

Pengujian ini dilakukan beberapa kali dengan beberapa variabel kemiringan. Variabel kemiringan ini merupakan variabel bebas yang akan dilihat pengaruhnya terhadap variabel tetapnya yaitu tegangan *open circuit*, arus *short circuit* dan juga iradiasi matahari pada panel surya. Pengujian panel dilakukan selama beberapa jam dengan selang waktu pengambilan data adalah satu jam. Adapun letak latitude dari lokasi penelitian ini adalah -0.5345, dan longitude adalah 1246, dengan letak latitude ini kita bisa menentukan posisi matahari dari sudut *zenith* dan sudut *solar azimuth*.

B. Perhitungan Daya Masukan Panel Surya Sesuai Spesifikasi

Daya masukan (Pin) dari panel surya dapat dihitung dengan mengalikan besar intensitas iradiasi matahari yang diterima dengan luas permukaan dari panel surya yang digunakan. Dimana rata-rata besar iradiasi di Indonesia adalah 1000 watt/m² dan luas permukaan panel adalah 0.357 m². Dengan menggunakan Persamaan 5 nilai daya masukan panel dapat dicari yaitu:

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

$$P_{in} = 1000 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \times 0.357 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 357 \text{ watt}$$

C. Perhitungan Daya Keluaran Panel Surya Sesuai Spesifikasi

Daya keluaran (Pout) dari panel surya dapat dihitung dengan perkalian dari Voc x Isc x FF melalui Persamaan 6 dan FF atau *Fill Factor* dapat dicari melalui Persamaan 7, maka dapat dicari daya keluaran panel surya yang digunakan yaitu:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1}$$

$$FF = \frac{22.5 - \ln(22.5 + 0.72)}{22.5 + 1}$$

$$FF = 0.823616$$

$$P_{out} = 22.5 \times 3.04 \times 0.823616$$

$$P_{out} = 56.335 \text{ Watt}$$

D. Perhitungan Efisiensi Panel Surya Sesuai Spesifikasi

Efisiensi dari panel surya dapat dicari dengan perhitungan menggunakan Pout dan Pin yaitu melalui Persamaan 8, maka dapat dicari efisiensi daya panel surya yang digunakan yaitu:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{56.335}{357} \times 100\%$$

$$\eta = 15.78 \%$$

E. Hasil Pengujian Panel Surya Tanpa Beban

Pengujian keempat dilakukan pada tanggal 19 Juli 2023, pada hari tersebut sudut dari deklinasi matahari sebesar 20.82 derajat bernilai positif. Sudut deklinasi ini menunjukkan bahwa pada hari itu matahari berada pada posisi condong ke sebelah utara dengan besar sudut jika ditarik lurus dari pusat bumi sebesar 20.82 derajat terhadap garis khatulistiwa. Posisi matahari pada tanggal 19 Juli 2023 dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

TABEL 2
SPESIFIKASI PANEL SURYA

Jam	Deklinasi (°)	Sudut Jam Matahari (°)	Zenith (°)	Solar Azimuth (°)
11	20.82	-15	25.03	-34.75
12	20.82	0	20.29	0
13	20.82	15	25.03	34.75
14	20.82	30	25.64	53.13
15	20.82	45	48.38	61.64

Pada [Tabel 2](#) diambil keputusan bahwa pengujian akan dilakukan pada pukul 11 sampai dengan 15 WITA dikarenakan terkait dengan nilai tertinggi dari radiasi matahari. Penentuan ini berdasarkan dengan grafik *Peak Sun Hour* (PSH) wilayah Indonesia.

Hasil data yang telah diolah dari pengujian pada tanggal 19 Juli 2023 yang telah dilakukan tanpa beban dapat dilihat pada [Tabel 3](#) hingga [Tabel 7](#). Pengujian ini dilakukan selama lima jam dari pukul 11.00 hingga pukul 15.00 WITA dengan rentang pengambilan data dilakukan setiap satu jam dengan kondisi cuaca pada saat itu dalam keadaan cerah.

TABEL 3
DATA PENGUJIAN JAM 11

Sudut Panel (°)	Jam 11						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.71	2.4	1120	319.84	40.39	10.10	Cerah
10	20.64	2.6	1150	410.55	43.59	10.62	Cerah
30	20.50	2.5	1130	403.41	41.58	12.47	Cerah
45	20.42	2.6	1090	389.13	38.08	12.89	Cerah

TABEL 4
DATA PENGUJIAN JAM 12

Sudut Panel (°)	Jam 12						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.70	2.8	1310	467.67	47.1	10.07	Cerah
10	20.82	3	1388	495.51	50.81	10.25	Cerah
30	20.66	2.9	1342	479.09	48.67	10.46	Cerah
45	20.57	2.7	1278	456.24	45.08	10.99	Cerah

TABEL 5
DATA PENGUJIAN JAM 13

Sudut Panel (°)	Jam 13						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.60	2.6	1238	441.96	43.49	9.87	Cerah
10	20.75	2.8	1293	461.60	47.23	10.23	Cerah
30	20.55	2.7	1268	452.67	45.03	11.08	Cerah
45	20.48	2.4	1202	429.11	39.87	11.68	Cerah

TABEL 6
DATA PENGUJIAN JAM 14

Sudut Panel (°)	Jam 14						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.35	2.3	1089	367.35	37.93	10.32	Cerah
10	20.40	2.5	1089	388.77	41.34	10.63	Cerah
30	20.30	2.4	1051	375.20	39.46	13.36	Cerah
45	20.21	2.2	1008	359.85	35.99	13.93	Cerah

TABEL 7
DATA PENGUJIAN JAM 15

Sudut Panel (°)	Jam 15						
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	E (W/m ²)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi Panel (%)	Kondisi Cuaca
0	20.15	2.1	913	325.94	34.23	10.50	Cerah
10	20.18	2.3	945	337.36	37.56	11.13	Cerah
30	20.1	2.2	929	331.65	35.76	15.12	Cerah
45	20	2	889	317.37	32.32	15.8	Cerah

Pada [Tabel 3](#) dapat dilihat hasil pengolahan data dari pengujian jam 11 dengan kondisi cuaca cerah, pada waktu tersebut iradiasi matahari sebesar 1260 watt/m². Dari iradiasi tersebut panel uji yang memiliki sudut kemiringan berbeda memiliki kemampuan berbeda dalam menghasilkan daya keluaran. Panel yang efektif dalam menerima iradiasi adalah panel dengan kemiringan 10 derajat sebesar 1150 watt/m² yang menghasilkan daya keluaran sebesar 43.59 watt dengan Voc sebesar 20.64 volt dan Isc sebesar 2.6 ampere. Sedangkan panel dengan sudut kemiringan lainnya menghasilkan daya keluaran yang lebih kecil.

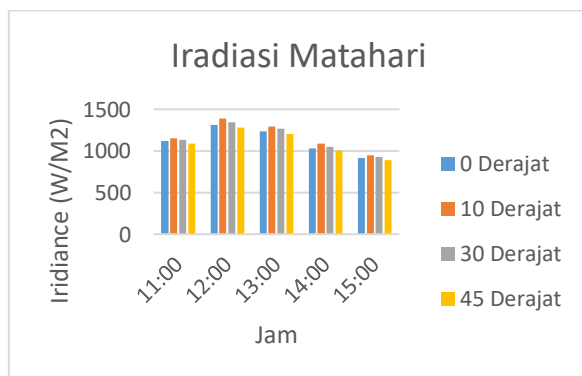
Hasil data yang telah diolah pada pengujian jam 12 dapat dilihat pada [Tabel 4](#). Pada waktu ini merupakan waktu puncak matahari menghasilkan iradiasi dimana besar iradiasi pada waktu ini sebesar 1450 watt/m². Dari iradiasi ini panel dengan kemiringan 10 derajat mampu menerima iradiasi matahari dengan maksimal yaitu sebesar 1388 watt/m² dan mampu menghasilkan daya keluaran paling besar yaitu 50.81 watt. Sedangkan panel dengan sudut kemiringan lainnya menghasilkan daya keluaran lebih rendah dimana kemiringan 0 derajat menghasilkan daya keluaran 47.1 watt. Sudut kemiringan 30 derajat menghasilkan daya keluaran sebesar 48.67 watt, lebih besar dari panel dengan kemiringan 0 derajat.

Panel yang menghasilkan daya keluaran terkecil yaitu panel dengan kemiringan 45 derajat yaitu sebesar 45.08 watt.

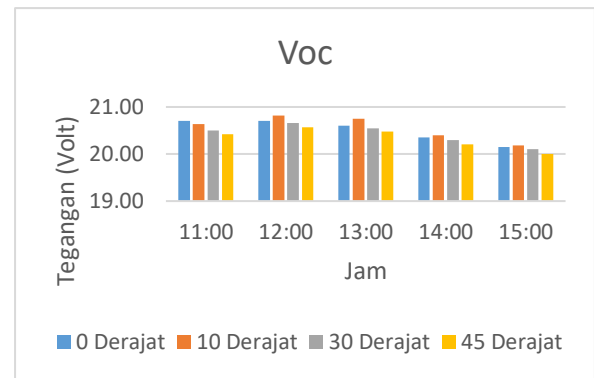
Pada pengujian selanjutnya yaitu jam 13 didapat data kemudian dilakukan pengolahan data dan dapat dilihat pada [Tabel 5](#). Pada waktu tersebut iradiasi matahari kembali turun sebesar 1370 watt/m². Dengan iradiasi pada waktu tersebut, panel yang diuji dengan perbedaan kemiringan memiliki kemampuan yang berbeda dalam menerima iradiasi matahari dan menghasilkan daya keluaran. Dimana pada waktu ini sudut kemiringan yang mampu menerima iradiasi matahari dengan maksimal adalah 10 derajat sebesar 1293 watt/m² dan menghasilkan daya keluaran sebesar 47.23 watt. Selanjutnya ada panel dengan sudut kemiringan 30 derajat yang mampu menghasilkan 45.03 watt. Panel yang menghasilkan daya keluaran terbesar adalah panel dengan sudut kemiringan 0 derajat yaitu sebesar 43.49 watt dan panel dengan daya keluaran terkecil adalah panel dengan sudut kemiringan 45 derajat sebesar 39.87 watt.

Pada [Tabel 6](#) dapat dilihat data yang telah diolah dari pengujian jam 14 dimana iradiasi pada waktu itu sebesar 1165 watt/m². Perbedaan sudut kemiringan pada panel menyebabkan perbedaan kemampuan panel dalam menghasilkan daya keluaran dari iradiasi yang diterima. Pada waktu ini panel dengan kemiringan 10 derajat masih memiliki kemampuan yang baik dalam menerima iradiasi matahari yaitu sebesar 1089 watt/m² dan mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 41.34 watt. Sedangkan sudut kemiringan lainnya memiliki kemampuan menerima iradiasi matahari dan menghasilkan daya keluaran lebih kecil akan tetapi perbedaannya tidak jauh.

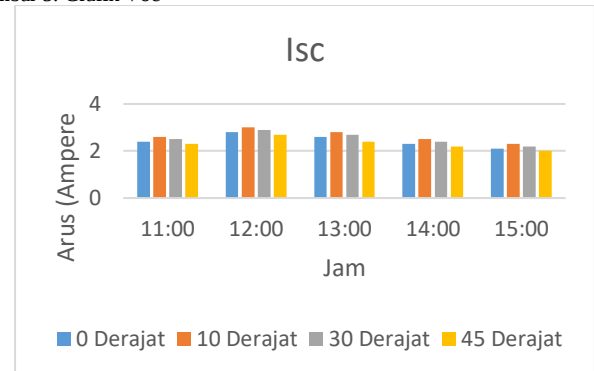
Pada data terakhir yang diambil pada jam 15 dapat dilihat pada [Tabel 7](#) dimana pada waktu tersebut iradiasi matahari sebesar 1030. Pada data yang telah diolah pada waktu pengujian terakhir ini dapat dilihat bahwa panel yang efektif dalam menerima iradiasi matahari dan menghasilkan daya keluaran terbesar adalah panel dengan sudut kemiringan 10 derajat, dengan iradiasi matahari yang dapat diterima sebesar 945 watt/m² dan daya keluaran sebesar 37.56 watt. Sedangkan sudut kemiringan yang menghasilkan daya keluaran terbesar kedua yaitu sudut kemiringan 30 derajat sebesar 35.76 watt. Sudut kemiringan 0 derajat menghasilkan daya keluaran sebesar 34.23 watt dan sudut kemiringan yang menghasilkan daya keluaran terkecil yaitu sudut 45 derajat menghasilkan daya keluaran sebesar 32.32 watt.



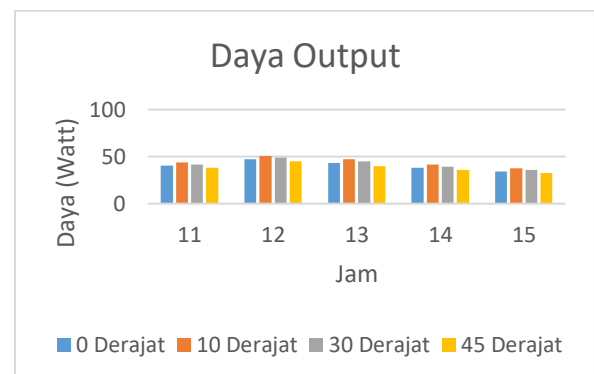
Gambar 4. Grafik Penerimaan Iradiasi Matahari Pada Panel Surya



Gambar 5. Grafik Voc



Gambar 6. Grafik Isc



Gambar 7. Grafik Daya Output

Dari data yang telah diolah pada pengujian kelima ini kemudian diproyeksikan dalam bentuk grafik dan dapat dilihat pada [Gambar 4](#) hingga [Gambar 7](#). Dari gambar tersebut dapat dilihat bentuk dan trend grafik dari data yang telah diambil. Pada [Gambar 4](#) menunjukkan grafik iradiasi matahari pada hari pengujian dimana waktu puncak matahari memancarkan iradiasi terbesar adalah jam 12.00 siang.

Dari iradiasi tersebut dapat dilihat kemampuan panel yang memiliki perbedaan kemiringan dalam menghasilkan nilai Voc pada [Gambar 5](#). Dari grafik yang terbentuk dapat dilihat bahwa perbedaan sudut kemiringan panel akan memengaruhi kemampuan panel dalam menghasilkan daya keluaran.

Sudut kemiringan panel juga memengaruhi kemampuan panel dalam menghasilkan nilai Isc, hal ini dapat dilihat pada [Gambar 6](#). Pada gambar tersebut dilihat kemiringan yang baik dalam menghasilkan nilai Isc terbesar yaitu sudut 10 derajat.

Pada [Gambar 7](#) dapat dilihat grafik daya keluaran yang terbentuk. Dari trend grafik yang terbentuk dapat dilihat bahwa sudut kemiringan panel memengaruhi kemampuan panel dalam menghasilkan daya keluaran. Sudut kemiringan yang baik dalam menghasilkan daya keluaran adalah 10 derajat.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan dapat diambil simpulan bahwa:

1. Pada pengujian ini yang dilakukan tanpa beban dan tidak terhubung apapun dan dalam keadaan cuaca cerah, iradiasi matahari terbesar yang dapat diterima sebesar 1388 watt/m² oleh panel 10 derajat dan daya keluaran terbesar dihasilkan oleh panel 10 derajat sebesar 50.81 watt.
2. Sudut kemiringan yang efektif pada lokasi pengujian ini adalah 10 derajat.
3. Panel dengan sudut kemiringan yang efektif mampu menerima iradiasi matahari dengan baik.
4. Sudut kemiringan pemasangan panel yang efektif akan menghasilkan daya keluaran panel yang besar dengan tegangan dan arus yang maksimal.

B. Saran

Penulis merasa masih banyak yang bisa dilakukan agar penelitian ini menjadi lebih baik lagi, oleh karena itu penulis memberi saran kepada pembaca atau peneliti selanjutnya yaitu:

1. Hari pengujian yang lebih lama agar mengetahui sudut kemiringan pemasangan yang efektif setiap harinya pada lokasi yang sama
2. Penggunaan beban yang sesuai dengan kapasitas panel surya yang digunakan.
3. Disarankan untuk dapat memperbanyak sudut kemiringan yang diuji

REFERENSI

- [1] T. M. Yunus Khan et al., "Optimum location and influence of tilt angle on performance of solar PV panels," *J Therm Anal Calorim*, vol. 141, no. 1, pp. 511–532, Jul. 2020, doi: 10.1007/s10973-019-09089-5.
- [2] R. B. Mansour, M. A. Mateen Khan, F. A. Alsulaiman, and R. B. Mansour, "Optimizing the Solar PV Tilt Angle to Maximize the Power Output: A Case Study for Saudi Arabia," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 15914–15928, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3052933.
- [3] Basuki, M. M. Rosadi and F. S. Hadi, "Analisa Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Intensitas Cahaya Matahari dan Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Tipe Polycrystalline," *SAINSTEKNOPAK*, vol. 4, no. 1, pp. 135–140, 2020.
- [4] H. S. Tira, "Pengaruh Sudut Surya Terhadap Daya Keluaran Sel Surya 10 WP Tipe Polycrystalline," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 69–74, Jul. 2018, doi: 10.22441/jtm.v7i2.2676.
- [5] S. Sarna, Subhan, R. Murniati, and S. Nojeng, "Pengaruh Temperatur Permukaan Terhadap Efisiensi Konversi Photovoltaik Tipe Mono-Crystalline Pada Daerah Tropis," *J-Move : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 23–30, 2021.
- [6] D. Amalia, H. Abdillah, and T. W. Hariyadi, "Analisa Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya Tipe Monokristalin 50wp Yang Dirangkai Seri Dan Paralel Pada Instalasi Plts Off-Grid," *ELEMENTER*, vol. 8, no. 1, pp. 12–21, 2022, doi: 10.35143/elementer.v8i1.5187.
- [7] M. A. M. Ramli and H. R. E. H. Boucekara, "Estimation of solar radiation on PV panel surface with optimum tilt angle using vortex search algorithm," *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, no. 10, pp. 1138–1145, 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0830.
- [8] S. Ali and T. M. Aziz Pandria, "Penentuan Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya Untuk Wilayah Meulaboh," *JMKN*, vol. 5, no. 1, 2019, doi: 10.35308/jmkn.v5i1.1621.
- [9] Y. Pradona, *Variasi Kemiringan Sudut Terhadap Efektivitas Kinerja Panel Surya*, Skripsi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2019.
- [10] M. Usman, "Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya," *POLEKTRO*, vol. 9, no. 2, pp. 52–57, 2020, doi: 10.30591/polektro.v9i2.2047.
- [11] S. Himran, *Energi Surya: Konversi Termal & Fotovoltaik*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2021.
- [12] C. A. Siregar, A. Affandi, and A. M. Siregar, "Pemetaan Potensi Radiasi Matahari di Sumatera Utara Berdasarkan Perhitungan Matematika," *CERED Seminar Nasional Teknologi Eukasi SOSial dan Humaniora*, vol. 1, no. 1, pp. 72–78, 2021.
- [13] B. Sutanto, Y. D. Herlambang, B. Bono, A. S. Alfauzi, and D. A. Munawwaroh, "Optimalisasi Arah Sudut Tilt dan Sudut Azimuth dari Alat Pemanen Energi Radiasi Matahari di Semarang, Jawa Tengah," *Eksergi : Jurnal Teknik Energi*, vol. 17, no. 2, pp. 145–154, 2021, doi: 10.32497/eksergi.v17i2.2545.
- [14] A. D. Afriyani, S. Prasetya, and R. Filzi, "Analisis Pengaruh Posisi Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan di Pt Lentera Bumi Nusantara," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, Jakarta, Indonesia, 2019, pp. 176–183.
- [15] L. Rudawin, N. Rajabiah, and D. Irawan, "Analisa sistem kerja photovoltaic berdasarkan sudut kemiringan menggunakan monocrystalline dan polycrystalline," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, Jul. 2020, doi: 10.24127/trb.v9i1.1221.
- [16] P. P. T. D. Priatam, M. F. Zambak, Suwarno, and P. Harahap, "Analisa Radiasi Sinar Matahari Terhadap Panel Surya 50 WP," *RELE*, vol. 4, no. 1, pp. 48–54, 2021.
- [17] Hardani, *Dye-Sensitized Solar Cell: Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta: Pustaka Ilmu, 2019.
- [18] M. F. Fernanda, B. Nainggolan, and I. Silanegara, "Penentuan Komponen Sistem PLTS 100 Wp pada Floating Photovoltaic sebagai Sumber Energi Lampu Penerangan 20 W Pada Kolam Politeknik Negeri Jakarta," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, Jakarta, Indonesia, 2021, pp. 171–180.
- [19] M.-H. Jao, H.-C. Liao, and W.-F. Su, "Achieving a high fill factor for organic solar cells," *J. Mater. Chem. A*, vol. 4, no. 16, pp. 5784–5801, 2016, doi: 10.1039/C6TA00126B.