

EFEK KEMIRINGANSUDUT SERTA TEMPERATUR LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA PANEL SURYA

Muksin R. Harahap, Irfan Aditya Nugraha

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Islam Sumatera Utara

Abstract.

Energi surya yang memanfaatkan sinar matahari menjadi listrik telah menjadi sebuah alternatif yang begitu menjanjikan. Selain menjadi energi terbarukan, energi alternatif ini pun merupakan salah satu energi yang ramah lingkungan. Akan tetapi, untuk mendapatkan energi yang optimal, penempatan panel surya pun harus tepat agar bisa menangkap sinar matahari secara optimal juga. Pada penelitian ini akan dikaji perbedaan kinerja panel surya apabila diposisikan pada sudut tertentu, dan sudut yang ditentukan penulis ialah sudut 30°, 45°, 60°, dan 90° terhadap sumbu normal dan mengikuti arah sinar datang matahari. Selain sudut panel surya, data suhu lingkungan pun diperhatikan untuk melihat pengaruh dan perbedaan pada masing – masing sudut panel surya yang terpasang. Penelitian dilakukan dengan mengambil data intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan, serta tegangan dan arus yang dihasilkan dari panel surya setiap satu jam sekali dari pukul 10:30 – 14:30. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa panel surya dengan sudut 90° mendapatkan rata – rata efisiensi yang paling besar diantara posisi sudut yang lain dengan nilai 14,96% dan untuk panel surya dengan efisiensi paling rendah ialah pada posisi sudut 30° dengan nilai efisiensi 10,30%.

Kata-Kata Kunci : Panel Surya, Kemiringan, Temperatur

I. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan pokok di dalam kehidupan di dunia ini. Energi sendiri terbagi menjadi dua, yaitu Energi Terbarukan dan Energi Tak Terbarukan. Energi Terbarukan merupakan energi yang didapatkan dari sumber daya alam yang tidak terbatas dan tidak akan pernah habis meskipun digunakan secara terus-menerus. Sedangkan Energi Tak Terbarukan merupakan energi yang terbentuk dari fosil bumi berjuta-juta lamanya. Berbeda dengan Energi Terbarukan, Energi Tak Terbarukan jumlahnya sangatlah terbatas dan akan habis apabila digunakan terus-menerus, salah satunya ialah energi surya.

Salah satu teknologi yang digunakan untuk memanfaatkan energi surya ialah panel surya yang digunakan sebagai pembangkit energi listrik alternatif dengan memanfaatkan energi sinar matahari.

Panel surya sebagai aplikasi teknologi sumber energi terbarukan memiliki kendala daya keluaran yang tidak cukup besar dan sangat tergantung oleh kondisi alam. Selain itu, posisi panel surya pun mempengaruhi daya masukan dari sinar matahari yang diserap oleh solar panel itu. Oleh karena itu, akan dikaji ulang sebuah panel surya untuk dilihat unjuk kerjanya pada posisi rata dengan permukaan tanah (90 derajat) dan dengan 3 macam variasi sudut menghadap arah datang sinar matahari.

II. Tinjauan pustaka

2.1 Energi Surya

Energi terbarukan atau *renewable energy* adalah energi yang berasal dari sumber daya alam dan tidak terbatas atau dapat diperbarui. Contoh energi terbarukan adalah energi surya dan energi

angin yang dapat terus digunakan dan ada di sekeliling kita. Mereka menghasilkan sedikit atau bahkan tidak ada pencemaran atau gas rumah kaca.

Energi surya atau energi matahari diperoleh dengan mengubah energi dari radiasi sinar matahari menjadi panas, listrik, atau air panas. Selain itu, sistem fotovoltaik (PV) dapat mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik melalui penggunaan Panel Surya.

Sinar matahari, atau energi surya, dapat digunakan untuk pemanasan rumah, pencahayaan dan pendinginan dan bangunan lainnya, pembangkit listrik, pemanas air, dan berbagai proses industri. Sebagian besar bentuk energi terbarukan berasal baik secara langsung atau tidak langsung dari matahari.

2.2 Matahari

Matahari adalah suatu bola dari awan gas dengan suhu yang sangat panas. Suatu teori yang akhir-akhir ini dapat diterima para ahli mengatakan bahwa radiasi gelombang *elektromagnetik* merupakan kombinasi dari gelombang elektrik arus bolak-balik berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnet yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk foton.

Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang dapat diserap oleh bumi.

Pada dasarnya energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara 1308 Watt/m² dan 1398 Watt/m². Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun, maka energi yang dapat diserap oleh bumi besarnya adalah 751 x 10 kW/-jam.

2.3 Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi Yang Diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel

Intensitas radiasi langsung atau sorotan per jam pada sudut masuk normal dari persamaan berikut ini,

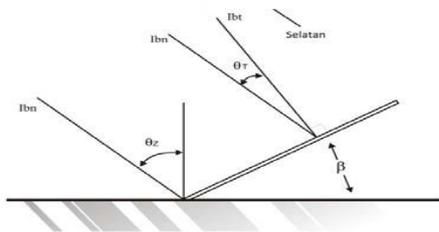
$$I_{bn} = \frac{I_b}{\cos \theta_z} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

I_{bn} = Radiasi sorotan matahari pada suatu permukaan horizontal

$\cos \theta_z$ = Sudut zenit.

I_b = Radiasi sorotan pada suatu permukaan horizontal



Gambar 1. Radiasi sorotan setiap jam pada permukaan miring dari pengukuran I_b

Dengan demikian, untuk suatu permukaan yang dimiringkan dengan sudut β terhadap bidang horizontal, intensitas dari komponen sorotan adalah,

$$I_{bT} = I_b \cos \theta_T \dots\dots\dots (2)$$

Dimana θ_T disebut sudut masuk, dan didefinisikan sebagai sudut antara arah sorotan pada sudut masuk normal dan arah komponen tegak lurus (90°) pada permukaan bidang miring.

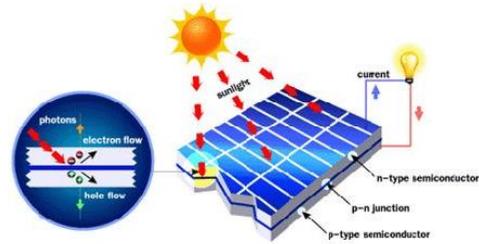
Besarnya jumlah radiasi matahari yang diterima oleh suatu tempat dipengaruhi oleh posisi sudut matahari yang masuk ke tempat tersebut. Dalam perencanaan suatu kolektor surya, posisi sudut matahari sangat perlu diketahui untuk memperoleh hasil yang maksimal sesuai dengan perancangan.

2.4 Panel Surya

Panel Surya atau juga sering disebut *photovoltaic* adalah perangkat yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Panel Surya dapat dianalogikan sebagai alat dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan.

Panel Surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun

dasar. Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan *hole*) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik.



Gambar 2. Ilustrasi Cara Kerja Panel Surya dengan prinsip *p-n Junction*

Kapasitas daya dari sel atau modul surya dilambangkan dalam *watt peak* (W_p) dan diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu *Standard Test Condition* (STC). Modul *photovoltaic* memiliki hubungan antara arus dan tegangan.

Apabila jumlah energi matahari yang diperoleh oleh Panel Surya (fotovoltaik) berkurang atau intensitas cahaya berkurang, maka besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan juga berkurang. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dari penurunan arus.

Suhu juga memengaruhi kinerja sel dan efisiensi fotovoltaik, yang menghasilkan lebih banyak daya ketika Panel Surya dingin. Secara umum, ketika sel terpapar 1 kW/m^2 , suhu Panel Surya 30°C lebih tinggi dari udara sekitar. Semakin tinggi suhu Panel Surya, semakin rendah tegangan sekitar $0,0023 \text{ V/}^\circ\text{C}$ untuk teknologi kristal silikon dan sekitar $0,0028 \text{ V/}^\circ\text{C}$ untuk teknologi film tipis. Tenaga listrik juga berkurang $0,5\% / ^\circ\text{C}$ dalam teknologi kristal silikon dan menjadi sekitar $0,3\% / ^\circ\text{C}$ dalam teknologi film tipis.

Efisiensi Panel Surya adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan seberapa banyak listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Besar energi yang masuk pada Panel Surya adalah linear dengan besar intensitas radiasi matahari pada saat itu dan luas permukaan tangkap Panel Surya:

- DayaMasuk
 $P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots (3)$

P_{in} = daya input (Watt)
 I_r = intensitas radiasi matahari (W/m^2)
 A = Luas area modul surya (m^2)

- Fill Factor

Fill faktor Panel Surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan Panel Surya terhadap perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} , menurut persamaan berikut:

$$FF = \frac{V_{pm} \times I_{pm}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (4)$$

V_{pm} = tegangan pada titik kerja maksimum
 I_{pm} = arus pada titik kerja maksimum
 V_{oc} = tegangan rangkaian terbuka (*open circuit*)
 I_{sc} = arus hubung singkat (*short circuit*)

- Daya Output
 $P_{out} = V \times I \times FF \dots \dots \dots (5)$

- Efisiensi
 $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$

III. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini ialah metode kualitatif yaitu dengan cara pengambilan data penelitian pada instalasi panel surya sederhana untuk mendapatkan nilai efisiensi dari masing – masing posisi panel surya. Dalam penelitian ini akan diambil data iradiasi matahari dan daya keluaran panel surya dengan mengambil data setiap satu jam sekali dengan posisi sudut berbeda.

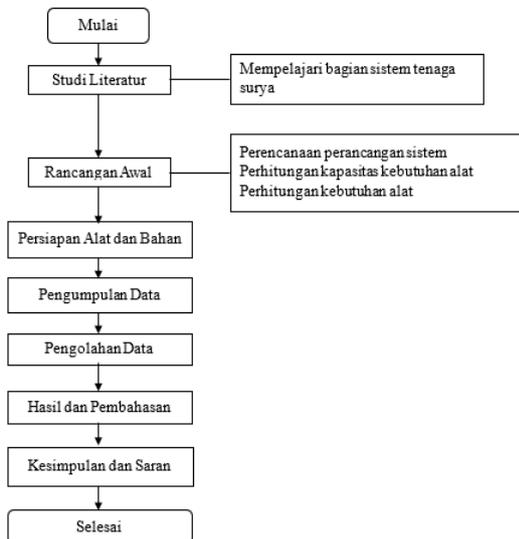
Alat yang digunakan pada penelitian ini ialah:

- a. Panel Surya
- b. Solar Charge Controller
- c. Aki/baterai
- d. Wattmeter
- e. Digital Lux Meter
- f. Temperatur Datalogger

Prosedur penelitian dilakukan dengan pengumpulan data dan informasi, dan analisa. Adapun tahapan analisa penelitian ialah sebagai berikut:

- a. Mengkonversi intensitas radiasi matahari dari Lux ke W/m^2
- b. Menghitung daya masuk yang diterima oleh panel surya
- c. Menghitung daya keluaran dari panel surya
- d. Menghitung efisiensi panel surya dengan membandingkan daya keluar dengan daya masuk
- e. Menganalisa perbedaan antara efisiensi antara panel surya dengan posisi sudut berbeda yang telah ditentukan.

Berikut adalah diagram alir penelitian:



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang diambil pada saat penelitian ialah suhu, intensitas radiasi, tegangan, dan arus. Berikut adalah hasil dari pengambilan data penelitian.

Hari Pertama (Panel surya diposisikan 90° terhadap sumbu normal)

Tabel 1. Data Penelitian dengan sudut 90°

Jam	Suhu	Radiasi (Lux)	Tegangan (Volt)	Arus (Amp)
10:30	38,9	100687	12,60	0,12
11:30	39,2	122670	12,63	0,20
12:30	39,6	180567	13,25	0,28
13:30	39,9	195700	12,98	0,38
14:30	39,6	182167	12,86	0,25

Hari Kedua (Panel surya diposisikan 60° terhadap sumbu normal)

Tabel 2. Data Penelitian dengan sudut 60°

Jam	Suhu	Radiasi (Lux)	Tegangan (Volt)	Arus (Amp)
10:30	39,6	136650	12,66	0,20
11:30	39,4	159000	12,66	0,23
12:30	39,7	183200	13,23	0,26
13:30	39,4	141500	12,88	0,25
14:30	39,7	182100	12,87	0,28

Hari Ketiga (Panel surya diposisikan 45° terhadap sumbu normal)

Tabel 3. Data Penelitian dengan sudut 45°

Jam	Suhu	Radiasi (Lux)	Tegangan (Volt)	Arus (Amp)
10:30	39,0	104177	12,60	0,15
11:30	39,2	143500	12,60	0,18
12:30	39,7	176633	13,18	0,19
13:30	39,7	174900	12,89	0,25
14:30	39,4	174900	12,86	0,27

Hari Keempat (Panel surya diposisikan 30° terhadap sumbu normal)

Tabel 4. Data Penelitian dengan sudut 30°

Jam	Suhu	Radiasi (Lux)	Tegangan (Volt)	Arus (Amp)
10:30	39,4	141200	12,61	0,16
11:30	39,0	109763	12,53	0,10
12:30	39,8	187033	13,13	0,14
13:30	40,0	196000	12,88	0,22
14:30	39,4	172550	12,84	0,23

Dari data yang didapatkan di atas, akan dihitung daya masuk dan daya keluar. Sehingga efisiensi dari panel surya tersebut bias dihitung dan dianalisa.

Untuk menghitung daya masuk, harus diketahui intensitas radiasi dalam W/m^2 dan luas dari panel surya yang digunakan (m^2). Intensitas radiasi matahari dikonversi dari lux menjadi W/m^2 dimana $683 \text{ Lux} = 1 \text{ W/m}^2$, maka $1 \text{ Lux} = 0,0014641288 \text{ W/m}^2$.

Daya keluar dari panel surya didapatkan dengan mengalikan tegangan dan arus yang didapat dari panel surya dan dikalikan dengan Fill Factor yang dihitung berdasarkan spesifikasi panel surya.

Berikut adalah contoh perhitungan untuk data hari pertama pada jam 10:30

$$I_r = 100687 \times \frac{1}{683} \text{ W/m}^2 = 147,42 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0,318 \text{ m} \times 0,213 \text{ m} = 0,067734 \text{ m}^2$$

Maka,

$$P_{in} = 147,42 \text{ W/m}^2 \times 0,067734 \text{ m}^2 = 9,99 \text{ Watt}$$

Fill Factor:

$$FF = \frac{V_{pm} \times I_{pm}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{17,8 \times 0,57}{21,8 \times 0,62} = 0,751$$

Maka

$$P_{out} = V \cdot I \cdot FF = 12,60 \times 0,12 \times 0,751 = 1,14 \text{ Watt}$$

Berikut adalah Tabel hasil perhitungan efisiensi

Tabel 5. Efisiensi Panel surya di Sudut 90°

Jam	Posisi 90°		
	P _{out}	P _{in}	η
10:30	1,14	9,99	11,37
11:30	1,88	12,17	15,45
12:30	2,75	17,91	15,37
13:30	3,70	19,41	19,08
14:30	2,45	18,07	13,54

Tabel 6. Efisiensi Panel surya di Sudut 60°

Jam	Posisi 60°		
	P _{out}	P _{in}	η
10:30	1,88	13,55	13,85
11:30	2,22	15,77	14,06
12:30	2,58	18,17	14,22
13:30	2,42	14,03	17,23
14:30	2,73	18,06	15,11

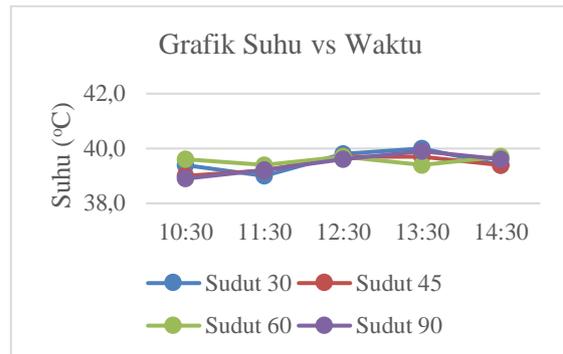
Tabel 7. Efisiensi Panel surya di Sudut 45°

Jam	Posisi 45°		
	P _{out}	P _{in}	η
10:30	1,39	10,33	13,43
11:30	1,67	14,23	11,74
12:30	1,88	17,52	10,73
13:30	2,42	17,35	13,95
14:30	2,58	17,35	14,89

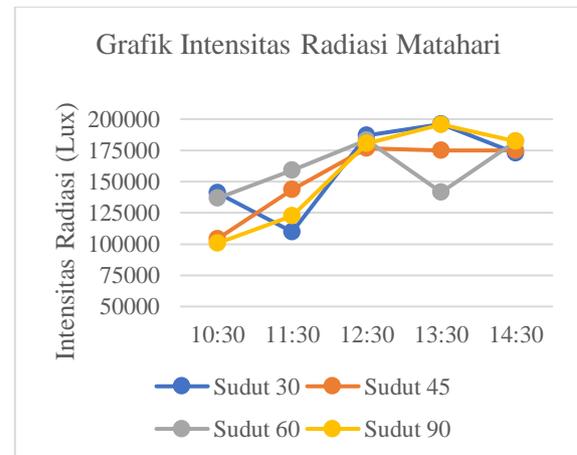
Tabel 8. Efisiensi Panel surya di Sudut 30°

Jam	Posisi 30°		
	P _{out}	P _{in}	η
10:30	1,55	14,00	11,04
11:30	0,97	10,89	8,93
12:30	1,41	18,55	7,62
13:30	2,13	19,44	10,94
14:30	2,22	17,11	12,95

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, berikut adalah grafik dari hasil penelitian



Gambar 4. Grafik Suhu terhadap Waktu



Gambar 5. Grafik Intensitas Radiasi Matahari terhadap Waktu

Dari grafik di atas kita bisa mengetahui bahwa intensitas radiasi matahari tertinggi pada saat penelitian dilakukan ialah pukul 13:30 dengan nilai 196000 Lux dan intensitas radiasi matahari terkecil ialah pada saat pukul 10:30 dengan nilai 100687 Lux. Dilihat dari grafik di atas, cahaya matahari dengan intensitas tinggi berada pada pukul 12:30 dan 13:30, sehingga bisa kita pastikan waktu yang tepat di daerah Medan untuk penyinaran yang tinggi ialah pada siang hari antara pukul 12:30 – 13:00.

Apabila kita melihat grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7 terdapat kemiripan dimana intensitas radiasi matahari sebanding dengan suhu sekitar pada panel surya. Pada saat intensitas radiasi matahari bertambah, suhu sekitar pada panel surya juga akan

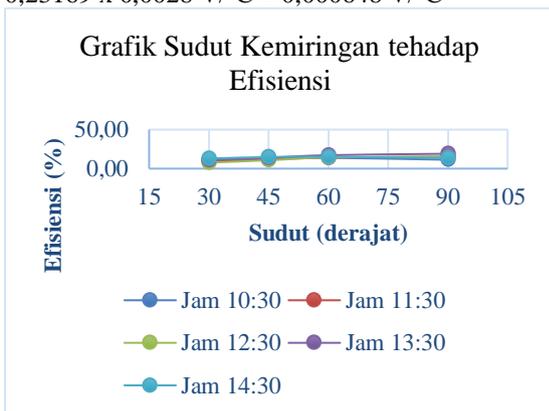
bertambah yang berarti suhu menjadi lebih panas. Intensitas terendah yang tercatat ialah sebesar 100687 Lux dengan suhu sebesar 38,9°C. Sedangkan intensitas tertinggi yang tercatat ialah 196000 Lux dengan suhu 40,0°C.

Jika diperhatikan grafik pada gambar 4.5, suhu sekitar panel surya tidak memberikan dampak yang begitu signifikan terhadap tegangan yang dikeluarkan oleh panel surya. Tegangan terendah yang tercatat ialah 12.53 V dan tertinggi ialah 13,25 V dengan rata – rata 12,84 V. Dengan jangkauan sebesar 1,1 °C, tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap perbedaan tegangan keluaran pada panel surya. Hal ini dikarenakan penurunan nilai tegangan tersebut begitu kecil. Berdasarkan tinjauan pustaka pada BAB II, disebutkan tegangan akan mengalami penurunan sekitar 0,0023 V/°C untuk teknologi kristal silikon dan sekitar 0,0028 V/°C untuk teknologi film tipis dengan paparan 1 kW/m². Dengan rata – rata intensitas radiasi sebesar 231,69 W/m² , penurunan tegangan bisa diestimasi menjadi :

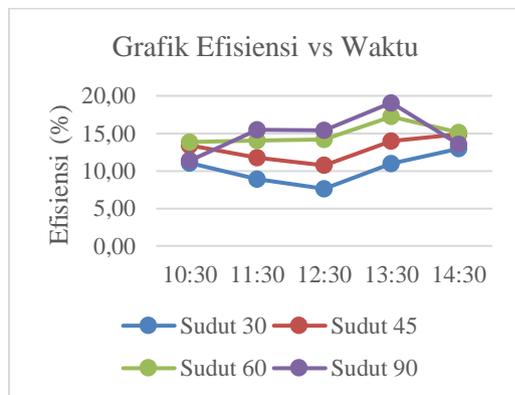
$$\frac{231,69 \text{ W/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 0,23169$$

Maka penurunan menjadi :

$$0,23169 \times 0,0028 \text{ V/}^\circ\text{C} = 0,000648 \text{ V/}^\circ\text{C}$$



Gambar 6. Grafik Sudut Kemiringan Terhadap Efisiensi



Gambar 7. Efisiensi Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik efisiensi di atas, terlihat jika posisi panel surya dengan sudut 90 derajat terhadap sumbu normal memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan posisi lainnya. Sudut 60 derajat tidak semua titik memiliki efisiensi tertinggi

dari semuanya, akan tetapi pada pukul 10:30 dan 14:30 sudut 60 derajat mendapatkan paparan yang lebih efisien dari semuanya.

Efisiensi tertinggi dari panel surya yang diletakkan dengan sudut 90 dan 60 derajat terhadap sumbu normal ialah pada pukul 13:30. Hal ini disebabkan dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi untuk sudut 90 derajat pada jam 13:30 tersebut dan untuk sudut 60 derajat, panel surya mendapatkan sinar yang lebih banyak diserap dibandingkan waktu lainnya akibat sudutnya dan meskipun intensitas radiasi yang didapat bukan yang tertinggi. Nilai efisiensi tertinggi panel surya dengan sudut 90 derajat ialah nilai 19,08% dan efisiensi terendahnya 11,37%. Untuk panel surya dengan sudut 60 derajat terhadap sumbu normal ialah 17,23% dan efisiensi terendahnya 13,85%.

Meskipun panel surya dengan sudut 90 derajat memiliki efisiensi tinggi, tidak setiap waktu panel surya dengan sudut ini mendapatkan efisiensi yang paling tinggi, yaitu pada pukul 10:30 dan 14:30. Nyatanya panel surya dengan sudut 60 derajat terhadap sumbu normal memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel surya di sudut 90 derajat pada pukul 10:30 dan 14:30. Sehingga berdasarkan grafik efisiensi tersebut, panel surya dengan sudut 60 memiliki efisiensi yang mirip.

Untuk sudut 45 dan 30 derajat, efisiensi panel surya menjadi lebih kecil dibandingkan sudut 90 dan 60. Hal ini disebabkan oleh sudut yang dibentuk oleh panel surya tersebut yang tidak optimal untuk menerima sinar matahari. Efisiensi yang cukup tinggi hanya didapat pada pukul 10:30 dan 14:30 dimana pada saat tersebut sudut yang dibentuk oleh sinar matahari tidak terlalu melenceng dari panel surya. Berbeda halnya dengan waktu – waktu lainnya dimana efisiensi panel surya menjadi berkurang meskipun intensitas radiasi pada saat tersebut terbilang tinggi.

Nilai efisiensi tertinggi untuk sudut 45 derajat ialah 14,89% dan sudut 30 derajat ialah 12,95% pada pukul yang sama yaitu pukul 14:30. Efisiensi mengalami penurunan yang begitu signifikan pada pukul 12:30 dimana nilai efisiensi yang didapat 7,62% untuk 30 derajat dan 10,73% untuk sudut 45 derajat.

V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisa pengaruh sudut kemiringan panel surya dan dengan meneliti suhu di sekitar panel surya, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara berurutan nilai rata – rata efisiensi dari tinggi ke rendah ialah panel surya dengan posisi 90 derajat dengan nilai rata – rata 14,96%, posisi 60 derajat dengan efisiensi 14,89%, posisi 45 derajat dengan efisiensi 12,95%, dan posisi 30 derajat dengan 10,30%.

2. Daya output yang paling tinggi ialah pada solar panel dengan sudut 90 derajat dengan nilai efisiensi tertinggi ialah 19,08% pada pukul 13:30 dan daya output terendah ialah solar panel dengan sudut 30 derajat terhadap sumbu normal dengan nilai efisiensi 7,62% pada pukul 12:30.
3. Suhu lingkungan tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap daya yang dihasilkan oleh panel surya tersebut.
4. Pada gambar 4.1 Grafik Suhu Terhadap Waktu dan gambar 4.2 Grafik Intensitas Radiasi Matahari terhadap waktu, memiliki hubungan yang linear. Hal ini terlihat dari kedua grafik tersebut yang memiliki tren yang sama dimana suhu sekitar solar panel akan bertambah sesuai dengan naiknya intensitas radiasi matahari.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan efisiensi yang bagus, panel surya bisa ditempatkan pada rentang posisi 90 derajat sampai 60 derajat terhadap sumbu normal dan kita arahkan ke arah datang sinar matahari. Penulis menyarankan agar bisa digunakan atau dikembangkan sistem penggerak otomatis, yang bisa menggerakkan panel surya mengikuti cahaya matahari. Sehingga panel surya bisa mendapatkan sinar matahari yang maksimal dan efisiensi yang dihasilkan pun menjadi optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Asy'ari, Hasyim. 2012. *Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Dahliyah, Samsurizal, Nurmiati Pasra. 2021 *Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin*. Institut Teknologi PLN, Jakarta.
- [3] Darno, Yohannes M. Simanjuntak, M. Taufiqurrahman. 2019. *Studi Perencanaan Modul Praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Universitas Tanjungpura.
- [4] Jansen, Ted.J. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- [5] Junaidi, Muhamad. 2020. "*Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Gedung C Fakultas Teknik Universitas Islam Riau*". Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- [6] Pudjanarsa Astu, Djati Nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta : Penerbit C.V Andi Offset.
- [7] <https://atonergi.com/kelebihan-dan-kekurangan-solar-panel-thin-film/>
- [8] https://foreach.id/ID/light/illuminance/lux-to-watt%7Csq_cm_at_555_nm.html