

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Solar Cell

Solar cell, atau sel surya, adalah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. *Solar cell* terdiri dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang dapat menyerap cahaya matahari dan menghasilkan arus Listrik (Armansyah dkk., 2024).

Solar cell sering digunakan dalam panel surya untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan, dapat diperbarui, dan berkelanjutan. Teknologi ini banyak diterapkan dalam sistem tenaga surya rumah tangga, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), serta berbagai perangkat elektronik portabel.

2.1.2 Prinsip Kerja Solar Cell

Secara umum struktur sel surya terdiri dari beberapa lapisan tipis yaitu lapisan elektroda belakang (*back contact*), lapisan *absorber tipe-p*, lapisan transparan tipe-n dan lapisan elektroda depan (*front-contact*). Untuk kerja dari sel surya ditunjukkan dengan memperhatikan parameter efisiensi. Untuk menunjukkan unjuk kerja sel surya, efisiensi tergantung pada spektrum dan intensitas pancaran cahaya matahari dan suhu sel surya.

2.1.3 Jenis-Jenis Solar Cell

1. Monocrystalline

Monocrystalline silicon (Mono-Si) adalah jenis *solar cell* yang terbuat dari satu kristal silikon murni. Sel surya ini memiliki struktur kristal tunggal yang seragam,

sehingga memungkinkan elektron bergerak lebih bebas, menghasilkan efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya.



Gambar 2. 1 *Solar Cell Monocrystalline*
Sumber: (E. Pratama & Watiasih, 2020)

2. *Polycrystalline*

Polycrystalline silicon (Poly-Si) adalah jenis *solar cell* yang terbuat dari banyak kristal silikon yang dilebur menjadi satu. Berbeda dengan *monocrystalline* yang menggunakan satu kristal utuh, struktur *polycrystalline* terdiri dari banyak butiran kristal kecil, sehingga elektron tidak dapat bergerak seefisien pada *monocrystalline*.



Gambar 2. 2 *Solar Cell Polycrystalline*
Sumber: (E. Pratama & Watiasih, 2020)

3. *Thin-Film Silicon*

Thin-Film Silicon atau *Amorphous Silicon (a-Si)* adalah jenis solar cell yang dibuat dengan cara menempatkan lapisan tipis silikon non-kristalin di atas substrat seperti kaca, plastik, atau logam. Berbeda dengan *monocrystalline* dan *polycrystalline* yang memiliki struktur kristal yang jelas, *amorphous* silikon tidak memiliki pola kristal yang teratur, sehingga sifatnya lebih fleksibel dan ringan.



Gambar 2. 3 *Solar Cell Thin-Film Silicon*
Sumber: (Salsa Hayani dkk., 2021)

2.2 *Solar Cell Polycrystalline*

Polycrystalline dibuat dengan melebur silikon dan menuangkannya ke dalam cetakan, sehingga membentuk banyak kristal dalam satu sel. Hal ini membuat polikristalin lebih mudah diproduksi dan lebih murah dibandingkan monokristalin, meskipun efisiensinya sedikit lebih rendah.

2.2.1 Prinsip Kerja *Solar Cell Polycrystalline*

Solar cell polycrystalline bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik, yaitu proses konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan material semikonduktor. Proses ini terjadi dalam beberapa tahap sebagai berikut:

1. Penyerapan Cahaya Matahari

Panel surya polycrystalline, yang terbuat dari banyak kristal silikon, menangkap cahaya matahari. Ketika foton (partikel cahaya) mengenai permukaan panel, sebagian energinya diserap oleh material silikon.

2. Pembangkitan Elektron dan Lubang

Energi dari foton menyebabkan elektron dalam atom silikon terlepas dari ikatannya, membentuk pasangan elektron-lubang. Elektron yang terbebas akan bergerak dalam material silikon, sementara lubang berperan sebagai tempat kosong yang dapat diisi elektron lain.

3. Pembentukan Medan Listrik

Solar cell terdiri dari dua lapisan semikonduktor, yaitu lapisan tipe-P (positif) dan lapisan tipe-N (negatif). Di antara kedua lapisan ini terbentuk medan listrik internal, yang mendorong elektron bergerak ke arah tertentu, menciptakan aliran listrik.

4. Pengaliran Arus Listrik

Elektron yang bergerak kemudian dialirkan melalui jalur konduktor yang ada pada panel, sehingga menghasilkan arus listrik searah (DC).

5. Konversi dan Pemanfaatan Energi

Arus listrik yang dihasilkan dapat digunakan langsung oleh perangkat listrik berbasis DC, disimpan dalam baterai, atau dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter agar kompatibel dengan peralatan rumah tangga dan jaringan listrik.

2.2.2 Karakteristik *Solar Cell Polycrystalline*

1. Bahan dan Struktur

- a) Terbuat dari silikon polikristalin, yang terdiri dari banyak kristal silikon dalam satu sel.
- b) Warna biru dengan permukaan yang tampak seperti pecahan kristal.

2. Efisiensi dan Performa

- a) Efisiensi berkisar antara **13% - 17%**, lebih rendah dibandingkan panel monokristalin.
- b) Tidak seefisien monokristalin dalam menangkap energi matahari, terutama di kondisi cahaya rendah.

3. Harga

- a) Lebih murah dibandingkan panel monokristalin karena proses pembuatannya lebih sederhana dan hemat biaya.

4. Daya Tahan dan Umur Pakai

- a) Umur pakai sekitar **20-25 tahun**, sedikit lebih pendek dibandingkan monokristalin.
- b) Tahan terhadap suhu tinggi, tetapi lebih sensitif terhadap suhu dibandingkan monokristalin.

5. Aplikasi

- a) Cocok untuk penggunaan dengan anggaran terbatas.
- b) Banyak digunakan di rumah tangga, proyek skala menengah, dan beberapa aplikasi komersial.

2.2.3 Manfaat dan Keunggulan *Solar Cell Polycrystalline*

Solar cell polycrystalline memiliki banyak manfaat, terutama sebagai sumber energi ramah lingkungan. Panel surya ini tidak menghasilkan emisi karbon, polusi udara, atau limbah berbahaya, sehingga berkontribusi dalam mengurangi dampak perubahan iklim. Selain itu, penggunaan *solar cell* dapat membantu menghemat biaya listrik, karena energi yang dihasilkan dari sinar matahari dapat mengurangi ketergantungan pada listrik dari PLN. Dalam jangka panjang, penggunaan panel surya ini dapat mengurangi biaya tagihan listrik secara signifikan. Selain itu, *solar cell polycrystalline* memiliki masa pakai yang cukup panjang, yakni sekitar 25 hingga 30 tahun, dengan efisiensi yang tetap baik. Perawatannya pun tergolong mudah, hanya perlu dibersihkan secara berkala untuk memastikan kinerja optimal.

Salah satu keunggulan utama dari *solar cell polycrystalline* adalah harganya yang lebih terjangkau dibandingkan dengan panel monocrystalline. Hal ini disebabkan oleh proses produksinya yang lebih sederhana, di mana silikon yang digunakan tidak perlu dimurnikan hingga tingkat kemurnian tinggi. Selain itu, panel ini memiliki kinerja yang lebih stabil di cuaca panas, sehingga tidak mengalami penurunan efisiensi yang signifikan meskipun suhu lingkungan tinggi. Keunggulan lainnya adalah daya tahannya terhadap berbagai kondisi cuaca ekstrem, seperti hujan, panas terik, dan angin kencang, sehingga cocok digunakan di berbagai wilayah. Meskipun efisiensinya berkisar antara 15-17%, yang sedikit lebih rendah dibandingkan monocrystalline, namun panel polycrystalline tetap mampu menghasilkan energi yang cukup untuk kebutuhan rumah tangga dan bisnis kecil.

2.2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja *Solar Cell Polycrystalline*

1. Intensitas dan Durasi Sinar Matahari

Solar cell polycrystalline bekerja dengan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Semakin tinggi intensitas sinar matahari yang diterima, semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Wilayah dengan paparan sinar matahari lebih lama dan lebih kuat akan meningkatkan efisiensi kinerja panel. Namun, jika cuaca mendung atau terjadi penurunan intensitas sinar matahari, daya yang dihasilkan akan berkurang.

2. Suhu Lingkungan dan Temperatur Panel

Meskipun panel *polycrystalline* lebih tahan terhadap suhu tinggi dibandingkan jenis *monocrystalline*, peningkatan suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi kinerja panel. Ketika suhu meningkat, tegangan output panel cenderung menurun, sehingga mengurangi daya yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemasangan panel dengan ventilasi yang baik atau di tempat yang tidak terlalu panas dapat membantu menjaga efisiensi.

3. Sudut dan Posisi Pemasangan Panel

Orientasi dan kemiringan panel sangat menentukan jumlah sinar matahari yang diterima. Panel yang dipasang dengan sudut yang optimal terhadap posisi matahari akan menyerap energi lebih maksimal. Biasanya, panel harus dipasang menghadap ke arah matahari secara langsung dan disesuaikan dengan lokasi geografis untuk mendapatkan pencahayaan optimal sepanjang hari.

4. Bayangan atau Halangan (*Shading Effect*)

Bayangan dari bangunan, pohon, atau benda lain yang menutupi panel surya dapat mengurangi jumlah sinar matahari yang diterima, sehingga menurunkan efisiensinya. Meskipun hanya sebagian kecil panel yang tertutupi, dampaknya bisa

signifikan terhadap keseluruhan kinerja sistem. Oleh karena itu, penting untuk memastikan lokasi pemasangan bebas dari bayangan sepanjang hari.

5. Kebersihan dan Perawatan Panel

Debu, kotoran, dedaunan, atau bahkan kotoran burung yang menutupi permukaan panel dapat menghambat penyerapan sinar matahari, sehingga mengurangi efisiensi kerja panel. Membersihkan panel secara berkala akan memastikan panel tetap optimal dalam menghasilkan energi listrik.

6. Kualitas dan Jenis Panel yang Digunakan

Solar cell polycrystalline memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan monocrystalline, tetapi tetap cukup baik untuk banyak aplikasi. Kualitas bahan yang digunakan, seperti lapisan pelindung dan jenis silikon yang dipakai, juga mempengaruhi daya tahan dan kinerja panel dalam jangka panjang.

7. Sistem Pendukung dan Inverter

Panel surya tidak bekerja sendiri, tetapi memerlukan inverter untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) yang bisa digunakan oleh perangkat elektronik. Kualitas inverter yang digunakan akan mempengaruhi seberapa baik energi yang dihasilkan oleh panel dapat dimanfaatkan. Selain itu, sistem penyimpanan energi seperti baterai juga dapat membantu dalam mengoptimalkan penggunaan daya.

2.3 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya adalah ukuran jumlah energi cahaya yang dipancarkan atau diterima per satuan luas dalam satuan waktu. Intensitas ini biasanya dinyatakan dalam candela (cd) untuk sumber cahaya atau dalam watt per meter persegi (W/m^2) untuk

radiasi elektromagnetik secara umum. Faktor-faktor yang mempengaruhi intensitas cahaya meliputi jarak dari sumber cahaya, medium yang dilalui, dan sudut penyebaran cahaya (Putri & Sudarti, 2022).

2.3.1 Intensitas Cahaya dan Hubungan Kinerja Solar Cell

a. Hubungan Langsung dengan Daya Keluaran

Solar cell bekerja berdasarkan prinsip fotovoltaiik, di mana energi cahaya digunakan untuk membangkitkan listrik. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima, semakin banyak foton yang menghantam permukaan panel, yang meningkatkan jumlah elektron yang bergerak dan menghasilkan arus listrik lebih besar. Grafik hubungan antara intensitas cahaya dan daya keluaran solar panel umumnya menunjukkan tren linier, terutama dalam kondisi optimal.

b. Pengaruh Sudut dan Arah Panel.

Untuk memaksimalkan intensitas cahaya yang diterima, solar panel harus diposisikan pada sudut dan arah yang optimal. Jika sudut panel tidak sesuai, intensitas cahaya yang diterima akan berkurang, sehingga efisiensi panel juga menurun.

c. Faktor Cuaca

Kondisi cuaca seperti mendung, hujan, atau kabut dapat mengurangi intensitas cahaya yang mencapai panel surya. Bahkan bayangan dari bangunan atau pohon dapat signifikan mengurangi daya keluaran solar panel.

d. Temperatur Panel.

Meskipun peningkatan intensitas cahaya meningkatkan daya keluaran, suhu tinggi yang dihasilkan oleh sinar matahari dapat mengurangi efisiensi sel surya.

Temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan tegangan keluaran panel.

2.3.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Intensitas Cahaya

1. Jarak dari Sumber Cahaya.

Semakin jauh dari sumber cahaya, intensitas cahaya akan semakin berkurang. hal ini sesuai dengan hukum kuadrat terbalik, yaitu intensitas berkurang sebanding dengan kuadrat jarak.

2. Daya atau Kekuatan Sumber Cahaya.

Semakin besar daya lampu atau sumber cahaya (misalnya dalam satuan watt atau lumen), semakin tinggi intensitas cahaya yang dihasilkan.

1. Medium yang Dilalui Cahaya.

Cahaya yang melewati medium seperti air, kaca, atau udara berkabut akan mengalami penyerapan dan hamburan, yang dapat mengurangi intensitasnya. Jika cahaya datang tegak lurus terhadap permukaan, intensitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan cahaya yang datang dengan sudut miring.

2. Hambatan atau Penghalang.

Objek seperti dinding, pohon, atau benda lain dapat menghalangi cahaya dan mengurangi intensitasnya di area tertentu.

2.3.3 Dampak Intensitas Cahaya Terhadap Efisiensi dan Suhu Permukaan *Solar Cell*.

Intensitas cahaya memainkan peran penting dalam kinerja *solar cell*, terutama dalam menentukan efisiensi konversi energi dan suhu permukaan modul fotovoltaik. Secara umum, peningkatan intensitas cahaya akan meningkatkan arus listrik yang

dihasilkan oleh *solar cell* karena lebih banyak foton tersedia untuk membangkitkan pasangan elektron-hole. Namun, peningkatan intensitas cahaya juga dapat menyebabkan peningkatan suhu permukaan *solar cell*, yang dapat menurunkan efisiensi konversi energi.

Ketika intensitas cahaya tinggi, suhu modul *solar cell* meningkat akibat absorpsi panas. Peningkatan suhu ini dapat menyebabkan penurunan tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage, Voc*) dan meningkatkan arus bocor, sehingga efisiensi keseluruhan sistem menurun. Studi menunjukkan bahwa setiap kenaikan suhu sekitar 1°C dapat menyebabkan penurunan efisiensi *solar cell* berbasis silikon sekitar 0,4% hingga 0,5% .

Di sisi lain, intensitas cahaya yang rendah menghasilkan daya yang lebih kecil, tetapi suhu modul tetap lebih rendah, sehingga tegangan yang dihasilkan tetap optimal. Oleh karena itu, optimalisasi sistem pendinginan atau penggunaan bahan dengan koefisien suhu rendah sangat penting dalam menjaga efisiensi *solar cell* pada kondisi intensitas cahaya tinggi.

2.3.4 Hubungan Suhu dengan Efisiensi Solar Cell.

Efisiensi solar cell sangat dipengaruhi oleh suhu operasionalnya. Secara umum, peningkatan suhu akan menurunkan efisiensi solar cell, terutama pada sel berbasis silikon. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor utama, yaitu penurunan tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage, Voc*), peningkatan arus bocor, dan perubahan sifat material semikonduktor akibat kenaikan temperatur.

Ketika suhu meningkat, energi termal tambahan menyebabkan peningkatan rekombinasi pasangan elektron-hole dalam material semikonduktor. Akibatnya, tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell* berkurang, meskipun arus listrik (*short-circuit current, I_{sc}*) cenderung sedikit meningkat. Namun, penurunan tegangan lebih dominan dibandingkan peningkatan arus, sehingga efisiensi total solar cell menurun. Studi menunjukkan bahwa *solar cell* berbasis silikon mengalami penurunan efisiensi sekitar 0,4% hingga 0,5% untuk setiap kenaikan suhu sebesar 1°C .

Untuk mengatasi dampak negatif ini, berbagai metode pendinginan seperti penggunaan bahan dengan konduktivitas termal tinggi, sistem pendinginan aktif, dan desain modul yang lebih efisien dalam membuang panas telah dikembangkan. Selain itu, penggunaan material semikonduktor dengan koefisien suhu lebih rendah, seperti perovskit atau bahan berbasis gas (gallium arsenide), juga menjadi alternatif untuk meningkatkan efisiensi solar cell dalam kondisi suhu tinggi.

2.4 Parameter-parameter karakteristik panel surya

1. Arus Hubung Singkat (*I_{sc}* - Short Circuit Current)

Arus hubung singkat (Short circuit current, *I_{sc}*) Arus hubung singkat (Short circuit current, *I_{sc}*) adalah arus yang melalui sel surya saat tegangan pada sel surya sama dengan nol, $I=0$ (yaitu, ketika sel surya mengalami hubungan arus pendek). (Pido, 2019)

2. Tegangan terbuka (*V_{oc}*- open circuit voltage)

Tegangan rangkaian terbuka (open circuit voltage) adalah tegangan maksimum dari sel surya dan ini terjadi pada saat arus sel sama dengan nol ($I=0$). (Pido, 2019)

3. Arus pada Daya Maksimum (*I_{mp}* - Current at Maximum Power)

I_{mp} adalah arus listrik yang mengalir saat panel surya bekerja pada titik daya maksimum (P_{max}). Nilai ini terjadi saat panel beroperasi pada tegangan optimalnya. (Pido, 2019)

4. Tegangan pada Daya Maksimum (V_{mp} - Voltage at Maximum Power)

V_{mp} adalah tegangan listrik pada saat daya maksimum dihasilkan oleh panel surya. Nilai ini digunakan untuk merancang sistem agar beroperasi pada efisiensi tertingginya. (Pido, 2019)

5. Fill Factor (FF)

Fill Factor adalah perbandingan antara daya maksimum (P_{max}) yang bisa dihasilkan panel dengan hasil perkalian V_{oc} dan I_{sc} . FF menunjukkan kualitas dari sel surya. Nilai FF biasanya berkisar antara 0,70 hingga 0,85 untuk panel surya komersial. (Pido, 2019)

6. Daya Maksimum (P_{max} - Maximum Power Output)

P_{max} adalah daya maksimum yang bisa dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi ideal. Nilai ini terjadi pada titik V_{mp} dan I_{mp} . (Pido, 2019)

7. Daya Masukan (P_{in} - Input Power)

P_{in} adalah total energi surya yang diterima permukaan panel per satuan waktu. Ini dihitung berdasarkan intensitas radiasi matahari (dalam W/m^2) dikalikan dengan luas permukaan panel. (Pido, 2019)

8. Kapasitas Pengisian

Merupakan jumlah energi listrik yang dapat digunakan untuk mengisi baterai dari panel surya dalam waktu tertentu. Dihitung dari daya output dikalikan durasi penyinaran efektif (jam). (Pido, 2019)

9. Efisiensi Panel Surya (η - Efficiency)

Efisiensi panel adalah rasio antara daya keluaran maksimum dengan daya masukan dari radiasi matahari. (Pido, 2019)

10. Rugi-rugi Sistem Panel Surya

Kerugian sistem mencakup kehilangan energi akibat panas (thermal losses), refleksi, ketidaksempurnaan konversi, shading, debu, degradasi material, dan konversi di inverter. (Pido, 2019)

2.5 Rumus-rumus yang Digunakan

1. Luas penampang panel surya

$$A = p \times \ell \dots\dots\dots(2.1)$$

Sumber : *(Ikhsan & Alit, 2019.)*

Keterangan:

A = Luas penampang panel (m²)

P = Panjang panel (m)

ℓ = Lebar panel (m)

2. Daya input

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya input (Watt)

I_r = Intensitas cahaya (W/m²)

A = Luas penampang panel (m²)

3. Daya output Panel (P_{out})

$$P_{out} = V_{mp} \times I_{mp} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

P_{out} : daya output (Watt)

V_{mp} : tegangan maksimum panel (volt)

I_{mp} : arus maksimum panel (ampere)

4. Perhitungan Teoritis

$$I_{sc} = \frac{V}{Z_{total}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

I_{sc} : arus hubung singkat

V : tegangan sistem

Z_{total} : Impedansi total

5. Fill Factor (FF)

$$FF = \frac{P_{out}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

FF : Fill Factor

P_{out} : daya output (Watt)

V_{oc} : Tegangan saat rangkaian terbuka/Open Circuit Voltage (volt)

I_{sc} : Arus saat hubung singkat/Short Circuit Current (ampere)

6. Rugi-Rugi Sistem Panel Surya

a. Rugi Kabel

Resistansi kabel:

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan:

ρ : Resistivitas tembaga ($0.0175 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

L : Panjang kabel total (m)

A: Luas penampang kabel (m²)

b. Drop Tegangan (Tegangan jatuh):

$$\Delta V = 2 \times I_{mp} \times R \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

ΔV : Drop Tegangan (volt)

R: Resistansi kabel (ohm)

I_{mp} : arus maksimum panel (ampere)

c. Daya hilang pada kabel:

$$P_{\text{loss cable}} = I_{mp}^2 \times R \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

$P_{\text{loss cable}}$: Daya hilang pada kabel (Watt)

R: Resistansi kabel (ohm)

I_{mp} : arus maksimum panel (ampere)

7. Kapasitas pengisian baterai, (Ah)

$$C = t \times I_{mp} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

C: Kapasitas pengisian baterai, (Ah)

t : durasi pengisian baterai (jam)

I_{mp} : arus maksimum panel (ampere)

8. Efisiensi panel surya (η)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

η : efisiensi panel surya (%)

P_{in} : daya input panel (Watt)

P_{out} : daya output panel (Watt)

B. Metode Analisis

1. Metode *least square*

Dimana nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus:

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Sumber : (Ardhaneswari & Suwitra, 2024)

Keterangan:

r = Koefisien korelasi

n = Jumlah specimen

X = Nilai variabel X

Y = Nilai variabel Y

2. Metode *product momen*

pada metode ini nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan rumus:

$$r = \frac{n\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

r = Koefisien korelasi

x = deviasi rata-rata variabel X, =X-X

y = deviasi rata-rata variabel Y, =Y-Y

3. Metode korelasi linear berganda

Alat ukur mengenai hubungan yang terjadi antara variabel terkait (variabel Y) dan dua atau lebih variabel bebas (X_1, X_2, \dots, X_K) korelasi linear berganda dengan dua variabel bebas yakni mengukur hubungan yang terjadi antara variabel terikat (variabel

Y) dengan dua variabel bebas (X_1, X_2). Koefisien korelasi linear berganda untuk 3 variabel dirumuskan:

$$R_{Y.12} = \sqrt{\frac{r_{y.1}^2 + r_{y.2}^2 - 2r_{y.1}r_{y.2}r_{1.2}}{1 - r_{1.2}^2}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

$R_{Y.12}$ = koefisien korelasi 3 variabel 36

r_{y1} = koefisien korelasi Y dan X_1

r_{y2} = koefisien korelasi Y dan X_2

r_{12} = koefisien korelasi X_1 dan X_2

4. Nilai koefisien korelasi tiap variabel dapat dihitung dengan rumus:

$$r_{y1} = \frac{n\sum x_1 y - (\sum y)(\sum x_1)}{\sqrt{\{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\}}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$r_{y2} = \frac{n\sum x_2 y - (\sum y)(\sum x_2)}{\sqrt{\{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}\{n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2\}}} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$r_{12} = \frac{n\sum x_1 x_2 - (\sum x_1)(\sum x_2)}{\sqrt{\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\}\{n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2\}}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Artinya dari koefisien relasi (r)

Bila $0,9 < r < 1,00$ atau $-1,00 < r < -0,90$ berarti variabel memiliki hubungan yang sangat kuat

Bila $0,70 < r < -0,90$ atau $-0,90 < r < -0,70$ berarti variabel memiliki hubungan yang sangat kuat

Bila $0,50 < r < 0,70$ atau $-0,70 < r < -0,50$ berarti variabel memiliki hubungan yang moderat

Bila $0,30 < r < 0,50$ atau $-0,50 < r < -0,30$ berarti variabel memiliki hubungan yang lemah

Bila $0,0 < r < 0,30$ atau $-0,30 < r < 0,0$ berarti variabel memiliki hubungan yang sangat lemah

2.6 Jurnal Rujukan

(Loegimin dkk., 2020). *Sistem Pendingin Air Untuk Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menganalisis sistem pendinginan panel surya dengan menggunakan metode fuzzy logic. Penelitian ini berfokus pada upaya untuk memaksimalkan efisiensi panel sel surya dalam menghasilkan listrik serta menganalisis sistem pendinginan yang memanfaatkan cooling tower untuk menjaga suhu panel tetap dalam rentang optimal, yakni antara 25°C hingga 35°C . Dengan menjaga suhu panel dalam kisaran tersebut, diharapkan panel dapat beroperasi secara efektif dan efisien. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif yang melibatkan eksplorasi sistem pendinginan panel surya. Dalam implementasinya, penelitian ini menggabungkan penggunaan cooling tower dan fuzzy logic untuk mengontrol suhu panel surya secara otomatis. Sistem kontrol ini menggunakan mikrocontroller STM32 sebagai pusat pengendali yang mengelola kecepatan aliran air pendingin berdasarkan input dari sensor suhu yang terpasang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem pendingin menggunakan metode fuzzy logic dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi panel surya. Sistem pendingin yang dikembangkan berhasil menjaga suhu panel dalam rentang optimal, yaitu antara 25°C hingga 35°C , sehingga meminimalkan penurunan kemampuan panel dalam menghasilkan listrik. Penelitian mencatat bahwa

suhu rata-rata panel surya tanpa pendingin mencapai 50.14°C , yang berakibat pada penurunan daya listrik yang dihasilkan. Sebaliknya, dengan menggunakan heatsink, suhu panel turun menjadi 36°C dan efisiensinya meningkat dari 12,1% menjadi 13,74%.

(Yuwono, 2022). *Karakteristik Daya Panel Surya Polycrystalline 100 WP terhadap Perubahan Temperatur*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan data mengenai pola karakteristik dan nilai besaran daya dari panel surya jenis polycrystalline dengan kapasitas 100 WP. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel surya merk SUNASIA 100 WP serta temperatur yang dibutuhkan agar panel tersebut dapat menghasilkan energi listrik secara efektif. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan waktu yang diperlukan oleh panel surya merk SUNASIA 100 WP untuk mengisi aki dengan spesifikasi 12V 32Ah, sehingga penelitian ini dapat memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan dan pemanfaatan energi surya di Indonesia. Metode penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang terstruktur untuk memastikan proses berjalan dengan baik. Pertama, peneliti menentukan panel surya jenis polycrystalline dengan kapasitas 100 WP serta spesifikasinya. Selanjutnya, dilakukan rancangan dan instalasi panel surya serta alat ukur yang diperlukan untuk pengumpulan data. Penentuan waktu dan lokasi pengambilan data juga dilakukan agar mendapatkan kondisi yang optimal. Pengambilan data dilakukan untuk mengukur karakteristik daya panel surya dengan memperhatikan variasi suhu yang terjadi pada waktu dan kondisi tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik daya panel surya jenis polycrystalline dengan kapasitas 100 WP berbanding lurus dengan

temperatur, yaitu antara 25°C hingga 39°C. Daya minimal yang dihasilkan adalah 2,7 Watt pada temperatur 25°C, sedangkan daya maksimal mencapai 28,5 Watt pada temperatur 39°C. Panel surya merek SUNASIA jenis polycrystalline 100 WP dapat menghasilkan energi listrik yang efektif ketika suhu di atas 34°C. Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa waktu yang dibutuhkan oleh panel surya untuk mengisi aki berkapasitas 12V 32Ah, dengan tegangan awal 5,1 Volt hingga mencapai tegangan 13,6 Volt, adalah sekitar 8 jam.

(Faizin & Arandi, 2018). *Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Unjuk Kerja Solar Cell Tipe Polycrystalline Silicon Kapasitas 10 Watt*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bagaimana variasi intensitas cahaya yang diberikan oleh lampu halogen, pada berbagai tingkat daya (300, 500, dan 1000 watt), mempengaruhi keluaran tegangan, arus, daya, dan efisiensi dari solar cell. Metode penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis. Pertama, alat uji dirancang untuk mengukur keluaran solar cell, menggunakan peralatan seperti multimeter, luxmeter, dan thermometer untuk memantau arus, tegangan, intensitas cahaya, dan suhu permukaan solar cell. Selanjutnya, alat dan bahan disiapkan, termasuk solar cell dan lampu halogen dengan daya 300, 500, dan 1000 watt, serta berbagai peralatan pengukur yang diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara intensitas cahaya dan suhu permukaan panel dengan kinerja solar cell tipe polycrystalline silicon.