

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi energi**

**Energi matahari merupakan salah satu energi alternatif, pemanfaatan energi surya mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik.** Dalam konteks teknik mesin, energi sangat penting karena menjadi dasar dari semua proses mekanis dan termal yang terjadi dalam sistem teknik. Energi sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari dan didalam ilmu teknik, karena semua aktifitas mulai dari gerakan pemanasan, hingga pembangkitan listrik sangat memerlukan energi oleh karena itu, pemahaman tentang energi sangat penting untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan dalam penggunaan sumber daya. (Subarjo., 2020)

##### **2.1.2 Pemanfaatan energi terbarukan**

Pemanfaatan energi selama ini menimbulkan dampak negative terutama meningkatnya kadar gas rumah kaca di atmosfer sehingga memicu terjadinya pemanasan secara global. Energi terbarukan berasal dari alam dan dalam waktu singkat. Energi ini ramah lingkungan karena menghasilkan emisi karbon yang rendah atau nol. Dalam konteks pemanfaatannya, energi matahari digunakan melalui panel surya yang mengubah sinar matahari menjadi listrik atau panas untuk kebutuhan industri. (Septiadi., 2009)

Ada beberapa jenis-jenis energi terbarukan yaitu:

1. Energi surya

Energi surya ini berasal dari sinar matahari, energy dapat dimanfaatkan untuk kegunaan listrik, pemanas air tenaga surya dan bahkan bahan bakar dengan bantuan teknologi tertentu.

## 2. Energi angin

Energi angin yang dihasilkan dari pergerakan udara di atmosfer, energi ini dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angina yang menangkap energi kinetik dari angina dan mengubahnya menjadi energi mekanik, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator.

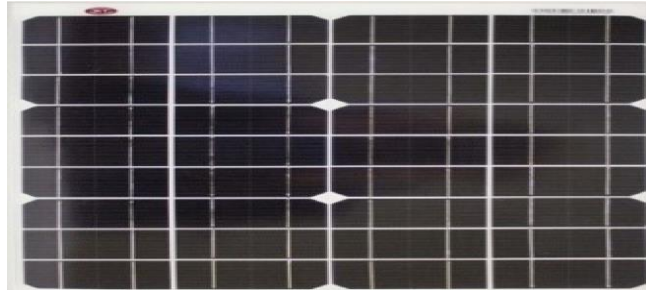
## 2.2 Solar cell

*Solar Cell* adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan Efek [Photovoltaic](#) adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu..

### 2.2.1 Jenis-jenis *solar cell*

#### 1. *Solar Cell Tipe monocrystalline*

*Solar Cell monocrystalline* adalah jenis panel surya yang dibuat dari satu kristal silikon murni. Panel ini memiliki efisiensi tinggi dalam mengubah energi matahari menjadi listrik karena strukturnya yang lebih teratur dibandingkan dengan jenis panel lainnya, seperti *polycrystalline* dan *thin-film*.



Gambar 2.1 Panel surya *monocrystalline*

Sumber: (Asrori & Yudiyanto, 2019)

## 2. Solar cell tipe Polycrystalline

*Solar cell polycrystalline* adalah jenis *solar cell* yang terbuat dari silikon multi-kristal. Sel ini dibuat dengan meleburkan banyak fragmen kristal silikon, kemudian dituang ke dalam cetakan berbentuk persegi dan didinginkan. Proses ini menghasilkan struktur kristal yang tidak seragam (multi-kristal), sehingga panel memiliki penampilan berbutir seperti kaca patri dengan warna biru tua.



Gambar 2.2 solar cell tipe Polycrystalline

sumber : (Santoso & Margonda, 2017)

## 2.3 Performa Solar Cell Monocrystalline

**Performa** *solar cell monocrystalline* dikenal sebagai yang paling unggul di antara jenis panel surya lainnya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan **silikon murni**

dalam bentuk kristal tunggal, yang memungkinkan aliran elektron berjalan lebih bebas dan efisien. Dengan efisiensi konversi energi berkisar antara **18% hingga 23%**, panel ini mampu menghasilkan lebih banyak listrik dari luas permukaan yang sama dibandingkan jenis lain, seperti *polycrystalline* atau **thin-film**.

### **2.3.1 Manfaat Solar Cell Monocrystalline**

*Solar cell monocrystalline* memiliki beberapa manfaat utama, antara lain efisiensi konversi energi yang tinggi, sehingga mampu menghasilkan listrik lebih banyak dalam area yang lebih kecil. Panel ini juga bekerja dengan baik meskipun dalam kondisi pencahayaan rendah, seperti saat cuaca mendung. Selain itu, panel ini memiliki daya tahan yang kuat dan umur pakai yang panjang, bisa mencapai 25 hingga 30 tahun. Desainnya yang hemat ruang menjadikannya cocok untuk instalasi di atap rumah atau tempat dengan lahan terbatas. *Solar cell monocrystalline* juga ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi selama operasional, serta memberikan nilai investasi jangka panjang yang baik.

### **2.4 Cermin Reflektor pada Solar Cell**

**Cermin reflektor pada solar cell** adalah alat tambahan yang digunakan untuk **memantulkan sinar matahari ke arah panel surya**, sehingga intensitas cahaya yang diterima oleh solar cell menjadi lebih tinggi. Tujuan utama penggunaan reflektor ini adalah untuk **meningkatkan efisiensi penyerapan cahaya matahari**, terutama pada sistem yang menggunakan ruang terbatas atau saat intensitas cahaya alami rendah. Cermin ini biasanya ditempatkan di sekitar panel dan terbuat dari bahan pemantul seperti aluminium, kaca reflektif, atau film khusus. Dengan memfokuskan lebih banyak

cahaya ke permukaan panel, reflektor membantu menghasilkan **energi listrik yang lebih besar tanpa harus menambah jumlah panel**. Namun, penggunaan reflektor juga perlu diperhitungkan dengan baik agar tidak menyebabkan **pemanasan berlebih (overheating)** pada panel, yang justru dapat menurunkan efisiensinya. Oleh karena itu, desain dan penempatan reflektor harus dilakukan dengan perhitungan teknis yang tepat agar benar-benar memberikan manfaat maksimal.

#### **2.4.1 Prinsip Kerja Cermin Reflektor**

Cermin reflektor berfungsi untuk meningkatkan intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya dengan cara memantulkan sinar matahari ke permukaan panel. Prinsip kerjanya dengan memantulkan cahaya matahari yang tidak langsung mengenai permukaan panel surya tersebut. Cermin reflektor berfungsi untuk meningkatkan intensitas cahaya yang diterima oleh solar cell dengan mengumpulkan dan mengarahkan lebih banyak sinar matahari ke permukaan panel. Dengan memanfaatkan reflektor, lebih banyak sinar matahari yang diarahkan ke panel surya, sehingga jumlah energi yang diserap menjadi lebih besar dibandingkan tanpa reflektor. Reflektor dapat berbentuk datar, parabola, atau jenis lainnya, tergantung pada kebutuhan sistem tenaga Cermin reflektor pada *solar cell* adalah perangkat tambahan yang digunakan untuk mengumpulkan dan memfokuskan sinar matahari ke permukaan panel surya, dengan tujuan meningkatkan jumlah energi cahaya yang diterima oleh sel surya, efisiensi penyerapan cahaya matahari oleh panel fotovoltaik. Cermin ini bekerja dengan memantulkan dan mengarahkan lebih banyak sinar matahari ke permukaan panel, sehingga meningkatkan jumlah energi yang dapat dikonversi

menjadi listrik. Penggunaan reflektor dapat membantu meningkatkan efisiensi penyerapan energi cahaya oleh *solar cell*, dengan memantulkan dan mengarahkan sinar matahari tambahan ke permukaan panel surya daya keluaran panel surya tanpa perlu menambah jumlah panel, sehingga lebih ekonomis dan efisien dalam penggunaan lahan dan sumber daya (Sidik dkk., 2022).

#### **2.4.2 Jenis-Jenis Cermin Reflektor pada Solar Cell**

Berikut adalah beberapa jenis cermin reflektor yang umum digunakan dalam *solar cell*:

##### **1. Reflektor Datar (*Flat Reflector*)**

Reflektor datar adalah cermin biasa dengan permukaan rata yang digunakan untuk memantulkan sinar matahari ke arah panel surya.

##### **2. Reflektor Parabola (*Parabolic Reflector*)**

Reflektor parabola adalah permukaan pemantul berbentuk parabola yang digunakan untuk mengumpulkan, memfokuskan, atau mengarahkan energy cahaya, panas atau gelombang elektromagnetik ke satu titik focus tertentu.

##### **3. Reflektor Fresnel**

Reflektor Fresnel adalah reflektor berbentuk lembaran dengan desain berlapis-lapis seperti lensa Fresnel untuk mengarahkan dan memfokuskan cahaya ke titik tertentu dengan ketebalan jauh lebih tipis dibandingkan reflektor parabola tradisional.

##### **4. Reflektor Heliostat**

Heliostat adalah sistem reflektor yang digunakan untuk memantulkan dan mengarahkan sinar matahari secara terus menerus ke suatu titik tetap.

## 5. Reflektor CPC (Compound Parabolic Concentrator)

Reflektor CPC menggunakan dua cermin berbentuk parabola yang berfungsi untuk menangkap sinar matahari dari berbagai arah dan memantulkannya ke satu titik pusat atau penerima energi lainnya.

### **2.4.3 Manfaat Cermin Reflektor pada *Solar Cell***

#### 1. Meningkatkan Intenitas Cahaya yang Diterima

Cermin reflektor memantulkan sinar matahari tambahan ke permukaan solar cell, sehingga panel menerima lebih banyak energi untuk dikonversi menjadi listrik.

#### 2. Mengurangi Luas Panel yang Dibutuhkan

Dengan adanya reflektor, jumlah energi yang diperoleh bisa meningkat tanpa harus memperbesar ukuran panel surya.

#### 3. Efisiensi Energi yang Lebih Baik

*Solar cell* dapat menangkap lebih banyak sinar matahari, sehingga meningkatkan jumlah foton yang diserap. Hal ini menghasilkan output daya listrik yang lebih tinggi tanpa menambah jumlah panel, terutama di daerah yang mendapat sedikit sinar matahari langsung atau saat matahari berada di sudut rendah.

#### 4. Mengurangi Biaya Instalasi

Dengan meningkatnya efisiensi, jumlah panel yang dibutuhkan bisa dikurangi, yang pada akhirnya menekan biaya pemasangan.

### **2.5 Rumus-rumus yang Digunakan**

#### A. Perhitungan Panel Surya

##### 1. Luas penampang panel surya

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

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

Keterangan:

A = Luas penampang panel (m<sup>2</sup>)

P =Panjang panel (m)

$\ell$  = Lebar panel (m)

## 2. Daya input

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

Keterangan:

P<sub>in</sub> = Daya input (Watt)

I<sub>r</sub> = Intensitas cahaya (W/m<sup>2</sup>)

A = Luas penampang panel (m<sup>2</sup>)

## 3. Daya output Panel (P<sub>out</sub>)

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

Keterangan:

P<sub>out</sub>: daya output (Watt)

V<sub>mp</sub>: tegangan maksimum panel (volt)

I<sub>mp</sub>: arus maksimum panel (ampere)

## 1. Fill Factor (FF)

$$FF = \frac{P_{out}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (2.4)$$

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)

## 2. Rugi-Rugi Sistem Panel Surya

### a. Rugi Kabel

Resistansi kabel:

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

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

L: Panjang kabel total (m)

A: Luas penampang kabel ( $\text{m}^2$ )

### b. Drop Tegangan (Tegangan jatuh):

$$\Delta V = 2 \times I_{mp} \times R \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$\Delta V$ : Drop Tegangan (volt)

R: Resistansi kabel (ohm)

$I_{mp}$ : arus maksimum panel (ampere)

### c. Daya hilang pada kabel:

$$P_{\text{loss cable}} = I_{mp}^2 \times R \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

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

R: Resistansi kabel (ohm)

$I_{mp}$ : arus maksimum panel (ampere)

3. Kapasitas pengisian baterai, (Ah)

$$C = t \times I_{mp} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

C: Kapasitas pengisian baterai, (Ah)

t : durasi pengisian baterai (jam)

$I_{mp}$ : arus maksimum panel (ampere)

4. Efisiensi panel surya ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

$\eta$  : 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:

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots\dots\dots(2.10)$$

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:

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

Keterangan:

r = Koefisien korelasi

x = deviasi rata-rata variabel X, =  $X - \bar{X}$

y = deviasi rata-rata variabel Y, =  $Y - \bar{Y}$

## 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:

$$R_{Y.12} = \sqrt{\frac{r_{y.1}^2 + r_{y.2}^2 - 2r_{y.1}r_{y.2}r_{1.2}}{1 - r_{1.2}^2}} \dots\dots\dots (2.12)$$

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:

$$r_{y1} = \frac{n\sum x_1 y - (\sum y)(\sum x_1)}{\sqrt{\{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\}}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$r_{y2} = \frac{n\sum x_2 y - (\sum y)(\sum x_2)}{\sqrt{\{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}\{n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2\}}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$r_{12} = \frac{n\sum x_1 x_2 - (\sum x_1)(\sum x_2)}{\sqrt{\{n\sum x_1^2 - (\sum x_1)^2\}\{n\sum x_2^2 - (\sum x_2)^2\}}} \dots\dots\dots (2.15)$$

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

(Faizin & Arnandi, 2018) Pengaruh intensitas cahaya terhadap unjuk kerja *solar cell* tipe *polycrystalline* silikon kapasitas 10 Watt. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya dan suhu permukaan panel terhadap keluaran daya dan efisiensi *solar cell* tipe *polycrystalline* silikon kapasitas 10 watt. Metode penelitian ini menggunakan pengujian dengan sumber cahaya lampu halogen berdaya 300, 500, dan 1000 watt, yang disinarkan ke *solar cell* dalam ruangan tertutup selama 33 menit, dengan pengukuran arus, tegangan, suhu, dan efisiensi secara berulang setiap menit dan tiga menit kemudian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran *solar cell* berbanding lurus dengan intensitas cahaya, sedangkan efisiensinya berbanding terbalik dengan intensitas tersebut. Efisiensi tertinggi diperoleh saat daya lampu 300 watt (6600 lux) sebesar 17,39%, dan menurun dengan peningkatan daya lampu dan intensitas cahaya tinggi sehingga efisiensi mencapai 10,23% saat daya 1000 watt (17800 lux).

(Kaban dkk., 2020) Optimalisasi penerimaan intensitas cahaya matahari pada permukaan panel surya (*solar cell*) menggunakan cermin. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan keluaran panel surya yang optimal dengan menggunakan cermin sebagai media reflektornya dan menentukan konfigurasi penempatan cermin yang dapat meningkatkan arus dan tegangan output panel surya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu melakukan percobaan dengan menguji panel surya yang dilengkapi reflektor cermin pada sudut kemiringan 30°, 45°, dan 60°. Pengukuran dilakukan terhadap arus dan tegangan output panel surya pada

berbagai waktu untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan reflektor terhadap kinerja panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan reflektor cermin meningkatkan daya keluaran panel surya, dengan daya tertinggi mencapai 19,36 watt pada sudut  $60^\circ$  dan suhu  $49^\circ\text{C}$ . Penambahan reflektor juga menyebabkan peningkatan arus dan tegangan meskipun pengaruhnya kecil, dan efektivitas tertinggi tercapai saat menggunakan reflektor  $60^\circ$ , tetapi di akhir hari terjadi penurunan karena reflektor menghalangi Cahaya.

(Maulana dkk., 2024) Analisa Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Antara PV (Photovoltaic) *Monocrystalline* 50 WP dan *Polycrystalline* 50 WP pada Berbagai Intensitas Cahaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa dan membandingkan efisiensi konversi energi antara dua jenis panel surya, yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline* 50 WP, pada berbagai tingkat intensitas cahaya matahari. Metode penelitian yang digunakan adalah true experimental research, yaitu pengukuran langsung di lapangan dengan cara memberi beban lampu dan mengukur produksi energi dari panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* secara bersamaan dari pukul 07.00 sampai 17.00 WIB. Pengumpulan data meliputi tegangan, arus, daya, intensitas cahaya, dan iradiasi, dengan langkah-langkah yaitu kalibrasi alat ukur, pengujian langsung, dan analisis data untuk membandingkan efisiensi kedua jenis panel surya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya *monocrystalline* 50 WP memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan panel *polycrystalline* 50 WP. Pada kondisi dengan intensitas cahaya tinggi, panel *monocrystalline* mencapai efisiensi sekitar 8,2%, sedangkan *polycrystalline* sekitar 7,9%. Data pengukuran menunjukkan

bahwa panel *monocrystalline* menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar, sehingga menyumbang pada efisiensi konversi energi yang lebih baik.