BAB II

LANDASAN TEORI

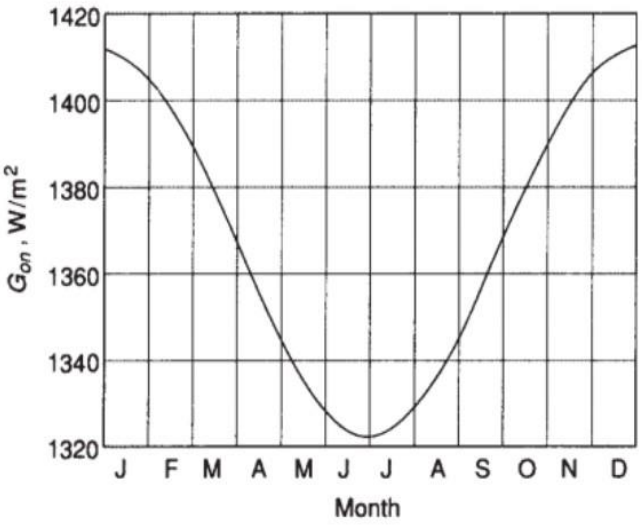
2.1 Energi Matahari

Matahari terdiri dari beberapa unsur, khususnya 71% hidrogen, 27% helium, dan 2% oksigen serta gas lainnya. Jarak matahari ke bumi adalah ~1496 x 1011. Nilai ini juga dikenal sebagai satuan astronomi (AU). Pada kecepatan cahaya dalam ruang hampa relatif (2,9979 x 108s−1), foton memancar dari matahari ke bumi hanya dalam ~500 detik, setara dengan 8,3 menit. Energi matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi dalam bentuk cahaya yang terdiri dari foton atau partikel matahari yang diubah menjadi energi listrik.Energi matahari yang mencapai bumi juga dikenal sebagai radiasi matahari global (Pattiasina, 2022).

2.1.1 Radiasi yang diapancarkan oleh matahari

Jarak orbit bumi sedemikian rupa dengan jarak matahari dan bumi bervariasi sebesar 1,7%. Jarak rata-rata bumi ke matahari dari pengukuran astronomi adalah 1,495 x 10^{11} m dan sudut kecenderungan matahari 32°. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi matahari per satuan waktu yang diterima pada satu satuan luas yang tegak lurus terhadap arah radiasi matahari dan bumi di luar atmosfer. *World Radiation Center (WRC)* menetapkan konstanta matahari (G_{sc}) menjadi 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian 1%. Akibat adanya variasi jarak antar

bumi dan matahari, maka terjadi perubahan nilai radiasi matahari extraterrestrial dalam sepanjang tahun. Gambar 2.1 menampilkan variasi nilai radiasi matahari diluar atmosfir bumi terhadap bidang yang tegak lurus dari arah radiasi (Gon) dan persamaan



Gambar 2.1 Variasi Radiasi Matahari Extraterrestrial Sepanjang Tahun
(Deceased and Beckman, 1982)

$$G_{on} = G_{sc} = \left(1 + 0{,}033\ cos\ \frac{360n}{365}\right) \quad \text{..... (2.1)}$$

Dimana :

G_{on} = Radiasi matahari harian

G_{sc} = Konstanta matahari

n = Hari ke- n dalam tahun

$$G_n = k_T\ x\ G_{on} \quad \text{..... (2.2)}$$

Dimana :

G_n = Radiasi matahari

k_t = Koefisien transmisi

2.1.2 Radiasi yang diterima oleh bumi

Radiasi yang diterima oleh bumi terbagi menjadi tiga jenis, yaitu (Sihite, 2021):

a. Radiasi langsung *(Beam Radiation* atau *Direct Radiation)*

Radiasi yang diterima oleh bumi dari matahari dalam satu garis lurus tanpa penyebaran pada atmosfer dan sinarnya sejajar. Oleh karena itu radiasi langsung menciptakan sebuah bayangan yang dapat dikonsentrasikan oleh cermin.

b. Radiasi tersebar *(Diffuse Radiation)*

Radiasi tersebar terdiri dari cahaya yang tersebar oleh atmosfer (udara, awan, aerosol). Penyebaran cahaya matahari ke seluruh arah disebut sebagai difusi. Cahaya matahari disebarkan oleh molekul udara, butiran uap air (awan) dan debu. Penyebaran cahaya matahari tergantung kondisi cuaca.

c. Radiasi total *(Global Radiation)*

Penjumlahan antara radiasi langsung *(direct radiation)* dan radiasi tersebar *(diffuse radiation).*

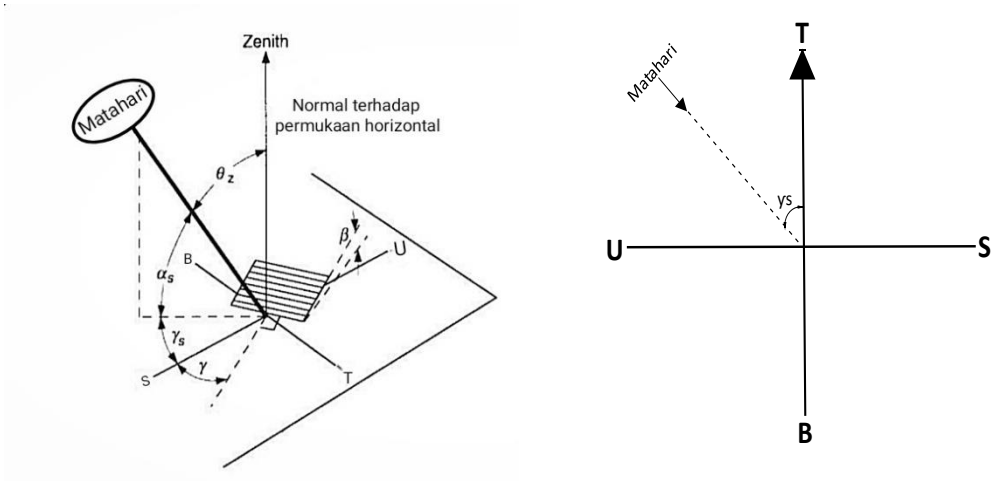
2.1.3 Iradiasi matahari

Iradiasi matahari adalah proses radiasi yang jatuh pada suatu permukaan. Semakin besar iradiasi yang diterima oleh panel surya, maka hasilnya akan berbanding lurus dengan arus dan berbanding terbalik dengan tegangan. Akibatnya, daya maksimum meningkat sejalan dengan radiasi yang diterima, maka efisiensi akan lebih baik pada radiasi yang besar (Handoyo and Ichsani, 2013).

2.2 Hubungan Antara Posisi Bumi dan Matahari

Bumi mengalami dua gerakan yaitu Rotasi dan Revolusi. Rotasi bumi adalah keadaan bumi yang berputar pada porosnya yaitu dari arah barat ke timur. Satu kali

rotasi, seluruh daerah di bumi telah menjalani 360°. Karena 360° ditempuh dalam waktu 24 jam, maka tiap 1° ditempuh dalam waktu 4 menit. Oleh karena itu, perbedaan sudut antara dua tempat yang ditempuh dalam satu jam adalah 15°. Salah satu efek dari rotasi bumi adalah adanya pergantian siang dan malam, dimana energi matahari yang dihasilkan akan meningkat dan mencapai puncak pada saat setengah rotasi atau tengah hari dan berkurang saat matahari bergerak ke arah barat.



Gambar 2.2 Sudut-sudut Posisi Matahari terhadap Suatu Benda Miring

(Deceased and Beckman, 1982)

Parameter sudut-sudut dalam penentuan posisi matahari pada Gambar 2.2 adalah sebagai berikut:

2.2.1 Sudut Deklinasi (δ)

Sudut Deklinasi merupakan sudut ketika matahari pada posisi *solar noon* atau ketika matahari berapa tepat diatas posisi lokasl suatu daerah terhadap garis equator/khatulistiwa, yang bernilai positif untuk matahari pada wilayah utara ($-23{,}45° \leq \delta \leq 23{,}45°$).

2.2.2 Sudut Latitude (ϕ)

Sudut *Latitude* adalah sudut lintang selatan atau utara dari garis equator, yang bernilai positif untuk lintang utara ($-90° \leq \phi \leq 90°$).

2.2.3 Sudut Tilt/Slope (β)

Sudut *Tilt/Slope* merupakan sudut kemiringan suatu bidang terhadap garis horizontal ($0° \leq \beta \leq 180°$).

2.2.4 Sudut *Azimuth* (γ)

Sudut *Azimuth* merupakan sudut deviasi dari proyeksi suatu benda pada bidang horizontal terhadap garis selatan-utara, yang bernilai positif untuk ke arah barat ($180° \leq \gamma \leq 180°$).

2.2.5 Sudut Jam Atau *Hour Angle*

Sudut Jam atau *Hour Angle* merupakan perubahan nilai sudut matahari dari arah timur atau barat akibat rotasi bumi dengan nilai 15° per jam, yang saat pagi bernilai negatif dan sore bernilai positif.

2.2.6 Sudut Kedatangan Atau *Incidence Angle*

Sudut Kedatangan atau *Incidence Angle* merupakan sudut antara radiasi matahari terhadap garis normal dari suatu permukaan

2.2.7 Sudut Zenith

Sudut *Zenith* merupakan sudut antara radiasi metahari terhadap garis normal dari permukaan horizontal

2.3 Sudut Bidang Miring Terhadap Radiasi Matahari

Beberapa hubungan persamaan untuk memberikan korelasi posisi matahari terhadap sudut-sudut tersebut diantaranya ditunjukkan oleh persamaan 2.3-2.5 (Deceased and Beckman, 1982).

$$\delta = 23{,}45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana :

δ = Deklinasi matahari

n = Hari ke- n dalam tahun

Pada dasarnya persamaan 2.3 diatas menunjukkan sudut deklinasi (δ) dari matahari di permukaan bumi sebagai fungsi dari n (urutan hari dari 1 Januari). I*ncidence angle* (θ) antara radiasi matahari terhadap garis normal dari suatu permukaan berbagai sudut di wilayah bumi. Sedangkan untuk radiasi matahari khusus yang menghadap garis normal dari permukaan horizontal dirumuskan dengan menggunakan persamaan sudut zenith (θz) seperti yang ditunjukkan di persamaan 2.4.

$$cos\theta 2 = cos\emptyset \, cos\delta \, cos\omega + sin\emptyset \, sin\delta \quad \text{.....(2.4)}$$

Dengan demikian persamaan 2.2 merupakan besarnya radiasi yang diterima suatu permukaan jika arah normal dari permukaan tersebut sejajar dengan radiasi matahari (G_n), sehingga hal tersebut akan memberikan nilai maksimum. Sedangkan suatu bidang yang diletakkan miring pada sudut tertentu (G_T), maka nilai radiasi akan lebih kecil dari nilai $G_{n,}$ dimana berikut perhitungan radiasi matahari pada suatu lokasi tertentu di bumi (Deceased and Beckman, 1982) yaitu:

$GT = Gn \,.\, cos\theta$

$= \mathrm{k}_T \; x \; G_{SC} \left(1 + 0{,}033 \cos \frac{360n}{365}\right) . \, cos\theta$ ....(2.5)

Dimana :

GT = Radiasi matahari total yang diterima

Gn = Radiasi matahari

θ = Sudut zenit

KT = Konstanta

G_{SC} = Radiasi matahari di luar atmosfer

T = Waktu dalam tahun

Persamaan 2.5 menunjukkan bahwa dengan membentuk nilai sudut kedatangan atau *incidence angle* (θ) mendekati nol, maka menghasilkan radiasi yang optimal bagi suatu bidang. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi solar tracker yang dapat mengikuti pergerakan matahari setiap saat. Namun sistem tersebut akan mengkonsumsi energi dalam jumlah yang cukup besar sehingga tidak dapat menghasilkan keuntungan ekonomis. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk memperoleh serapan radiasi matahari optimum tanpa menggunakan solar tracker adalah dengan melakukan pengaturan kemiringan bidang pada arah tertentu. Arah kemiringan dari bidang dipilih dengan mengatur sudut *tilt/slope* (β) dan sudut *azimuth* (γ) menggunakan persamaan berikut (Deceased and Beckman, 1982).

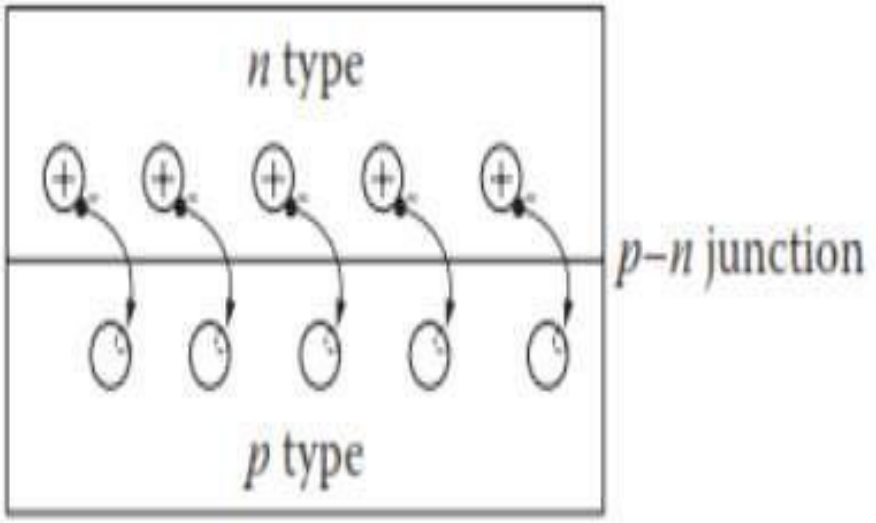
2.4 Panel Surya

Panel surya merupakan suatu alat yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Panel surya atau yang biasa disebut *photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan yang sering ditemui untuk pembuatan panel surya adalah *silicon*. Energi yang dihasilkan oleh panel surya berdasarkan energi matahari yang ada, juga berdasarkan arah panel surya terhadap matahari. Besar arus yang dihasilkan panel surya berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari. Sedangkan besar intensitas matahari selalu berubah sesuai dengan perubahan posisi matahari.

2.4.1 Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang terbuat dari bahan semikonduktor dan bekerja dengan prinsip *PN-junction. PN-junction* adalah lapisan semikonduktor jenis P dan N yang didapat melalui cara doping pada silicon murni. Semikonduktor jenis N memiliki electron yang berlebih (pembawa muatan negatif) sedangkan semikonduktor jenis P memiliki hole (pembawa muatan positif) yang berlebih dalam struktur atom. Didalam batang silicon terjadi pertemuan antara semikonduktor jenis P dan N. Dengan kondisi electron dan hole yang berlebih dapat terjadi doping material dengan atom dopant. Peran PN-*junction* ini adalah untuk membuat medan listrik sehingga *electron* dan hole bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Jika semikonduktor jenis P dihubungkan dengan semikonduktor jenis N, maka terjadi hubungan yang sering disebut "*forward biased*". Tetapi, jika bagian positif dihubungkan dengan kutub negative baterai dan

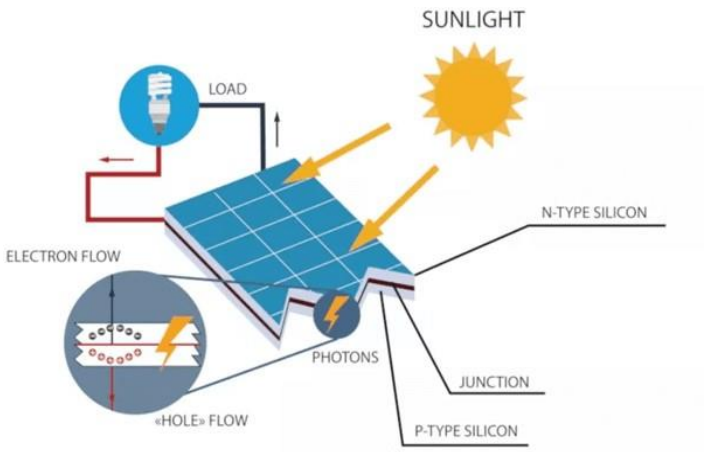
bagian negative dihubungkan dengan kutub positifnya maka akan terjadi hubungan yang sering disebut "*reverse bias*". yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Panel Surya *PN-junction* (Sihite, 2021)

Dapat dilihat ketika kedua bahan bergabung, elektron berlebih melompat dari lapisan n untuk mengisi lubang di lapisan p. Oleh karena itu di dekat sambungan materi memiliki muatan positif pada sisi n dan muatan negatif pada sisi p. Dalam keadaan ini, hole (pembawa muatan positif) dapat terhubung langsung ke kutub positif, begitupula sebaliknya muatan elektron (pembawa muatan negatif) langsung ke kutub positif.. Maka, sudah jelas dalam *PN-junction* tidak ada gerakan dari pembawa muatan positif baik hole maupun *electron.* Sedangkan electron (pembawa muatan negatif) dalam semikonduktor jenis P berusaha agar mencapai kutub positif baterai, juga hole (pembawa muatan positif) dalam semikonduktor jenis N berusaha agar mencapai kutub negatif. Prinsip kerja panel surya ini yaitu cahaya matahari masuk ke panel surya, lalu diserap dizona sambungan *pn – junction*, sehingga menyebabkan electron bebas melewati silicon, lalu masuk ke

sirkuit eksternal yang akan membentuk medan listrik, selanjutnya menjadi *energy* yang dapat di lepaskan untuk menghidupkan beban dan kembali ke panel surya begitu sebaliknya seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4 Prinsip kerja Panel surya
(Zakariya, 2021)

Adapun untuk menentukan perhitungan Kebutuhan Energi Listrik yang didapatkan diperoleh menggunakan persamaan 2.6.

$E = P\ x\ t : 1000$……..……...……(2.6)

Dimana :

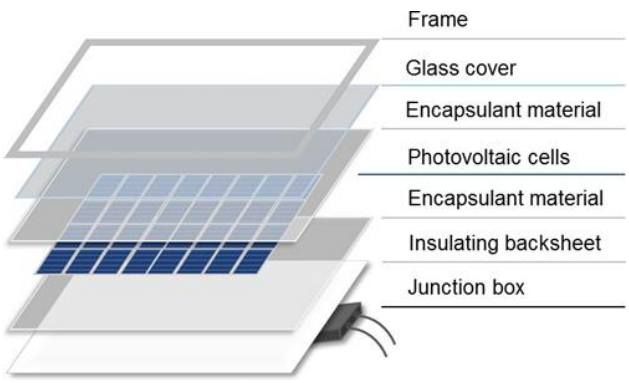
E = Energi (kWh)

P = Daya (Watt)

t = Waktu (Hour)

2.4.2 Struktur Fisik Modul *Photovoltaic*

Modul fotovoltaik (PV) merupakan alat penting untuk mengubah energi matahari menjadi listrik berikut gambar 2.5 merupakan Struktur Fisik Modul *Photovoltaic*



Gambar 2. 5 Struktur Fisik Modul *Photovoltaic*
(Sekarningrum, Jati and Widihastuti, 2024)

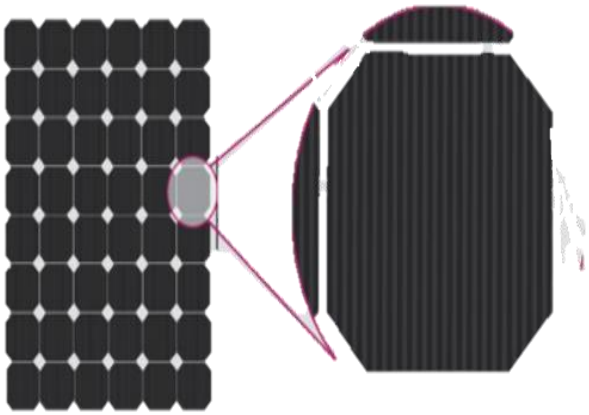
1. Bingkai atau rangka biasanya terbuat dari bahan aluminium yang telah mengalami proses *anodizing* untuk mencegah korosi. Bingkai dipasang pada tahap akhir pembuatan modul *Photovoltaic* dan berfungsi untuk memberikan kekokohan pada panel.
2. Kaca pelindung memiliki fungsi untuk melindungi sel *Photovoltaic* dari pengaruh lingkungan dan menjaga kestabilan panel.
3. Proses enkapsulasi atau laminasi terjadi penempelan lapisan antara sel *Photovoltaic* dan kaca pelindung. Tujuan dari laminasi adalah untuk mencegah kerusakan mekanis pada sel *Photovoltaic* dan mengisolasi tegangan yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dari bagian lain modul. Bahan yang sering digunakan dalam proses laminasi adalah *Ethylene-Vinyl Acetate* (EVA).

4. Sel *Photovoltaic* menjadi komponen utama dalam modul *Photovoltaic*. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang berfungsi untuk menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi, sel-sel dihubungkan secara seri melalui kawat/penghubung busbar. Bahan yang digunakan untuk pembuatan sel *Photovoltaic* adalah silikon, termasuk *polycrystalline* dan *monocrystalline*.
5. Lembar insulasi (*backsheet*) terbuat dari bahan plastik dan bertujuan untuk melindungi serta mengisolasi sel-sel *Photovoltaic* dari kelembaban dan kondisi cuaca.
6. Kotak penghubung (*junction box*) berperan sebagai terminal yang menghubungkan rangkaian sel-sel Photovoltaic dengan beban atau panel lainnya. Kotak penghubung ini memuat kawat/penghubung busbar yang menghubungkan sel-sel *Photovoltaic* secara seri atau parallel, juga termasuk kabel dan dioda *bypass*.

2.4.3 Jenis-Jenis Panel Surya

Panel Surya atau Sel PV tergantung kepada efek dari *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Jenis-jenis panel surya dibedakan berdasarkan teknologi pembuatannya, yaitu:

a. *Monocrystalline*



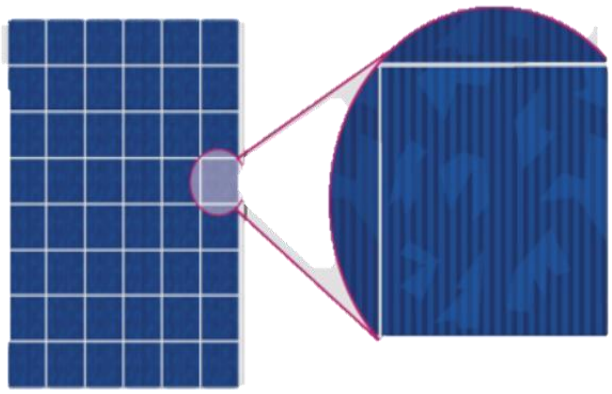
Gambar 2.6 Panel surya tipe *Monocrystalline* (Sukadri, 2021)

Silicone Monocrystalline atau biasanya disebut dengan *single crystal silicon* (Mono c-Si atau Mono-Si) merupakan bahan dasar untuk *Silicone* tipis yang digunakan hampir di semua peralatan elektronik saat ini. Mono-Si juga bisa difungsikan sebagai PV, bahan penyerap cahaya dalam pembuatan sel surya, *silicone monocrystalline* dari terbuat dari silicon kristal *lattice* seluruh zat yang padat secara kontinyu, tidak terputus pada ujungnya, dan bebas dari batas butir. *Silicone monocrystalline* berbeda dari bentuk silikon yang lain seperti *silicone amorf non crystalline* yang digunakan dalam sel surya *Thin-film* dan *silicone polycrystalline* yang terdiri dari kristal kecil atau biasa disebut kristalit.

Panel surya *monocrystalline* dihasilkan dari struktur kristal tunggal *silicone* yang dikenal sebagai *ingot*, panel ini memiliki warna yang konsisten dan memiliki aspek estetika. Pembuatan panel surya *monocrystalline* melibatkan metode *Czochralski* (*silicone* mentah dilebur dan dituangkan ke dalam cetakan persegi, yang didinginkan dan dipotong menjadi wafer persegi.), di mana benih kristal

silicone ditempatkan dalam cairan *silicone*. Kemudian, benih tersebut perlahan disusun oleh *silicone* cair sehingga membentuk struktur kristal padat di sekitarnya, *Ingot* ini, yang terdiri dari *silicone* kristal padat, kemudian diiris dengan halus menjadi lembaran silikon yang dikenal sebagai wafer. Wafer *silicone* ini selanjutnya diproses menjadi sel-sel surya. Penggunaan Photovoltaic ini bisa dipasang di atap (*rooftop solar*) ataupun di atas tanah (*ground mounted)* yang didorong oleh ketersediaan sumber daya. *Monocrystalline* memiliki biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Polycrystalline* dan memiliki efisiensi 15-25%.

b. *Polycrystaline*



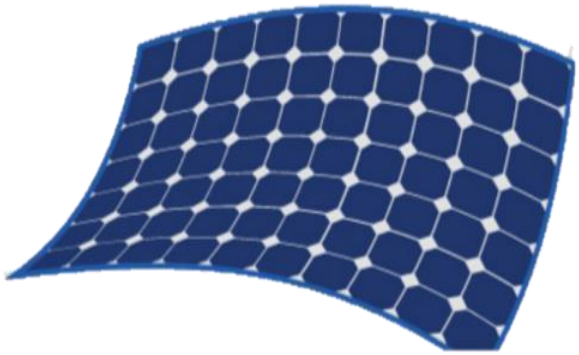
Gambar 2.7 Panel surya tipe *Polycrystalline* (Sukadri, 2021)

Silicone Polycrystalline, umumnya dikenal sebagai *polysilicon* atau Poly-Si, *polysilicon* memiliki kemurniannya yang tinggi dan kemampuannya untuk mengkristal menjadi *Polycrystalline Silicone* serta digunakan sebagai bahan baku oleh industry PV. *Polysilicon* ini dibuat menggunakan metode pemurnian kimia (*Siemens*) dari *silikone* kelas metalurgi. Dalam prosedur ini, senyawa *silicone* yang mudah menguap disuling (distilasi), dan suhu tinggi menyebabkannya terurai

menjadi *silicone. Reactor fluidized bed reactor* digunakan dalam proses pemurnian atau penyempurnaan.

Metalurgi digunakan di sektor industri PV untuk membuat *silicone upgraded metallurgical-grad* (UMG-SI) yang ditingkatkan sebagai pengganti prosedur pemurnian kimia. *Polysilicone* biasanya digunakan dalam komponen PV skala besar atau berpotensi tinggi, paling sering digunakan sebagai bahan material gate dalam perangkat semikonduktor seperti *MOSFET*. Karena penggunaan *silicone* secara luas, toksisitas rendah, dan biaya *polisilicone* yang relatif murah untuk *single* serta panel surya *polycrystalline* memiliki efisiensi 13-15% .

c. *Thin Film Photovoltaic*



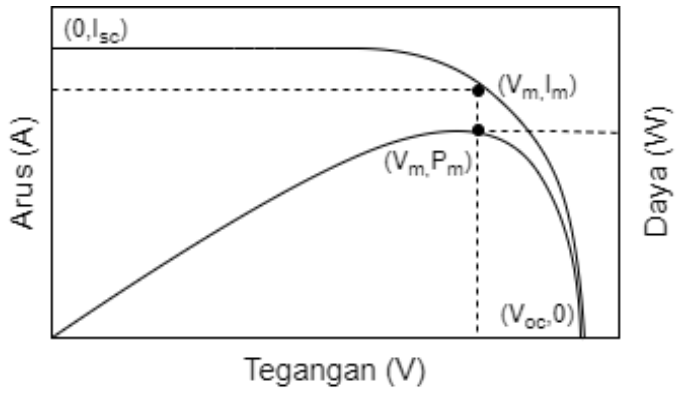
Gambar 2.8 Panel surya tipe *Thin Film* (Sukadri, 2021)

Sel thin film merupakan sel panel surya yang terbuat dari berbagai bahan, umumnya yang digunakan yakni *cadmium telluride* (CdTe), *silikon amorf* (a-Si), *copper indium gallium selenide* (CIGS), dan *gallium arsenide* (GaAs). Sel *thin film* memiliki warna yang tergantung dari materi pembuatnya (untuk materi silikon akan berwarna hitam). Sel *thin film* di pasaran saat ini memiliki tingkat efisiensi sebagai berikut: CdTe (9% - 11%), a-Si (6% - 8%), CIGS (10% - 12%), GaAs (28,8%). Dari

segi finansial harga sel *thin film* masih mahal dan biasanya digunakan untuk kebutuhan spesifik serta cocok untuk penggunaan PTLS portabel pada mobil, perahu, area pemasangan yang tidak dapat menahan beban berat, serta BIPV.

2.4.4 Kurva Karakteristik Tegangan dan Arus Panel Surya

Karakteristik sel surya adalah kurva hubungan antara tegangan dan arus jika dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan suhu. Daya maksimal yang terjadi pada sel surya dapat diperoleh pada intensitas cahaya matahari 1000 W/m^2 dan pada kondisi suhu 25°C sesuai dengan *Standar Test Condition* (STC). *Open circuit voltage* (Voc) adalah tegangan maksimum yang dapat dihasilkan panel surya tanpa beban ($load$) dan pada saat tidak ada arus ($I = 0\ A$). *Short circuit current* (Isc) adalah arus maksimum yang dihasilkan oleh sel surya dengan kondisi tanpa resistansi atau hubung singkat, serta tidak ada beban. Daya yang dihasilkan oleh panel surya yang dapat digunakan sebagai energi listrik operasional adalah *Pmpp*, dimana *Pmpp* diperoleh dari hasil perkalian antara Vmp dan Imp, sebagaimana pada gambar 2.9 berikut (Rusiana Iskandar, Bakti Zainal and Purwadi, 2019).



Gambar 2.9 Kurva Karakteristik Tegangan dan Arus Panel Surya

2.5 Factor Pengoprasian Panel Surya

Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari pengoperasian panel surya adalah sebagai berikut (Pattiasina, 2022):

1. Temperatur/Suhu

Temperatur atau suhu sangat mempengaruhi kinerja dan efisiensi panel surya. Output yang dihasilkan oleh panel surya tergantung dari suhu yang diterima oleh panel surya.

2. Intensitas Cahaya Matahari

Selain suhu atau temperatur, intensitas cahaya matahari pun sangat mempengaruhi kinerja panel surya. Jika cahaya matahari yang diterima oleh panel surya berkurang, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya pun akan mengalami penurunan. Begitu pula sebaliknya.

3. Sudut Kemiringan Panel Surya

Untuk mempertahankan sinar matahari yang akan jatuh ke permukaan panel surya secara tegak lurus makan energi yang didapatkan maksimum $\pm 1000\ W/m^2$ atau 1 kW/m^2. Sehingga pemasangan panel surya harus dipasang dengan sudut kemiringan yang sudah diperhitungkan agar panel surya dapat menerima sinar matahari dengan maksimal.

4. Keadaan Atmosfer Bumi

Keadaan bumi berawan, mendung, asap, uap air udara, kabut dan polusi menentukan output yang dihasilkan oleh panel surya.

2.6 MATLAB dan *Simulink*

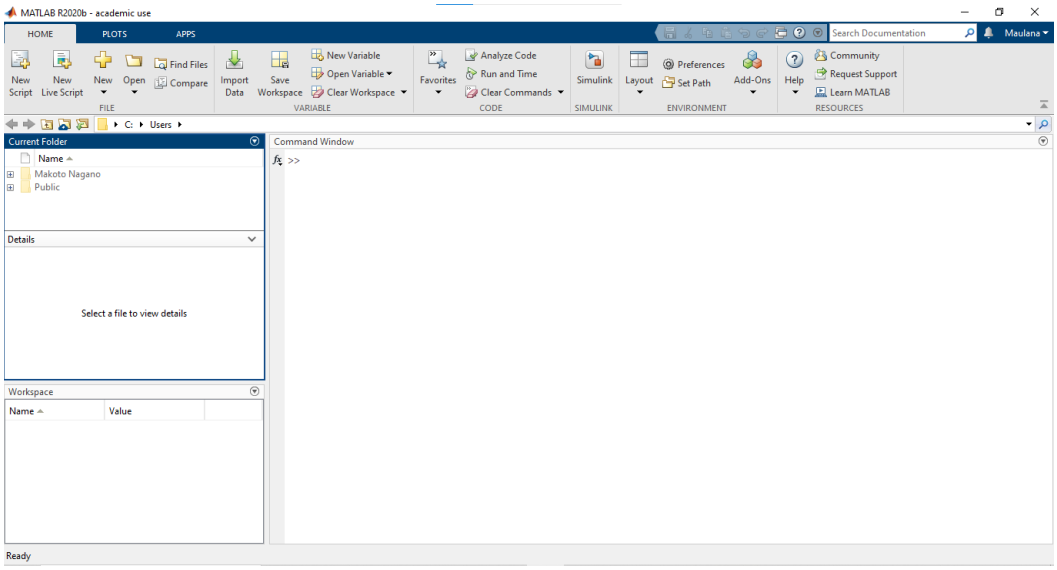
MATLAB dan *Simulink* adalah alat yang sangat penting dalam penelitian dan pengembangan di berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknik, dikarenakan Integrasi yang kuat antara MATLAB dan Simulink memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan kedua alat ini secara bersamaan, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengembangan dan pengujian model.

2.6.1 MATLAB

MATLAB, juga dikenal sebagai *Matrix Laboratory*, adalah *platform* pemrograman yang dikembangkan oleh *MathWorks Inc*. yang ditujukan untuk pemrograman berbasis matriks (Tjolleng, 2018).

MATLAB banyak digunakan pada :

- Analisis data
- Matematika dan Komputasi
- Pengembangan dan Algoritma
- Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototipe
- Pengembangan aplikasi teknik



Gambar 2. 10 Tampilan Utama MATLAB

Pada Gambar 2. 24 merupakan tampilan utama pada saat membuka aplikasi MATLAB. Secara umum, layar utama MATLAB memiliki beberapa bagian penting yaitu:

• Current Directory

Berfungsi untuk mengakses dan menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan MATLAB.

• Editor

Digunakan untuk membuat M-file yang akan dipakai untuk membuat atau mengedit program yang dijalankan oleh MATLAB.

• Command Window

Digunakan untuk menjalankan barisan-barisan program yang ditulis secara langsung dijendela ini melalui editor.

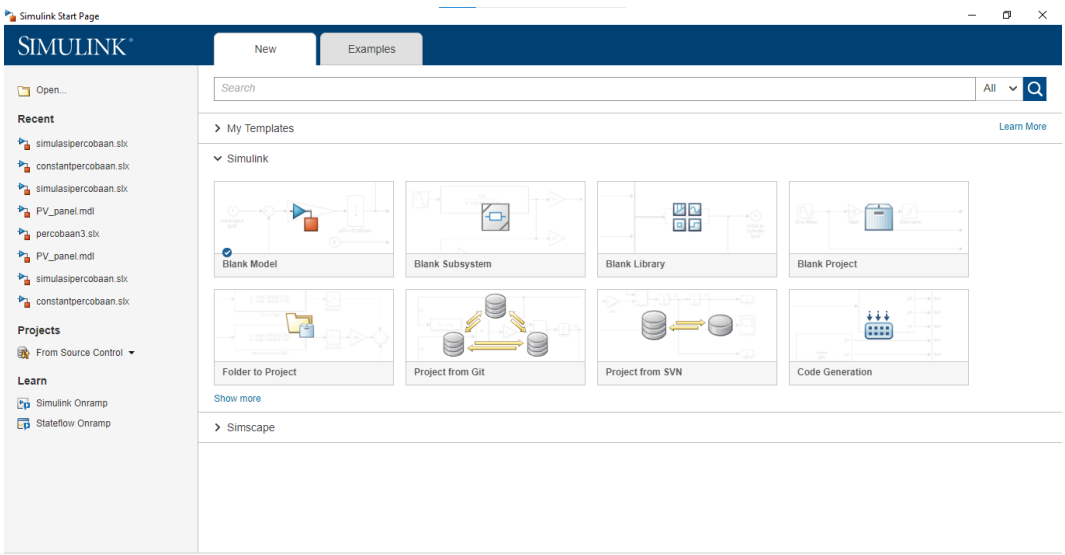
• Workspace

Berisi informasi tentang variabel yang disimpan berdasarkan program yang dibuat.

2.6.2 Simulink

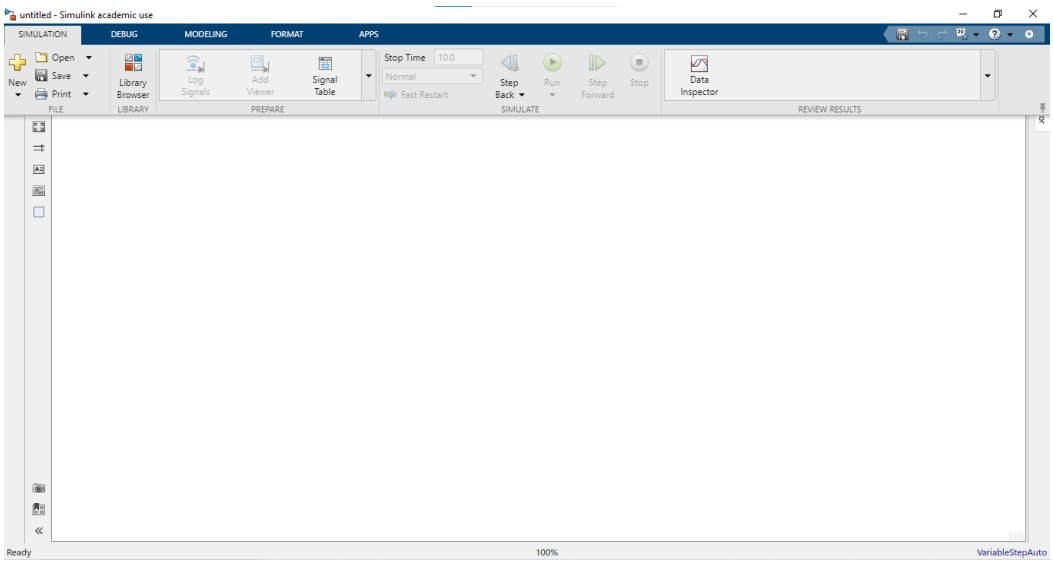
Sebagai bagian dari MATLAB, *Simulink* merupakan bagian tambahan dari *software* MATLAB (Mathworks Inc.). *Simulink* dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi, dan analisis sistem dinamis dengan antarmuka grafis (Dewantoro Herlambang *et al.*, 2021). Banyak elemen diagram blok, seperti fungsi transfer dan penjumlahan persimpangan, dan perangkat input dan output virtual, seperti osiloskop dan generator fungsi, dapat digunakan untuk menampilkan sistem di layar simulasi.

Membuka jendela *Simulink* dapat dilakukan melalui pemilihan *ikon Simulink* yang terletak di menu *bar Home*, atau dengan memasukkan perintah "*simulink*" pada jendela perintah. Selanjutnya, tampilan awal *Simulink* akan muncul seperti pada Gambar 2. 11.



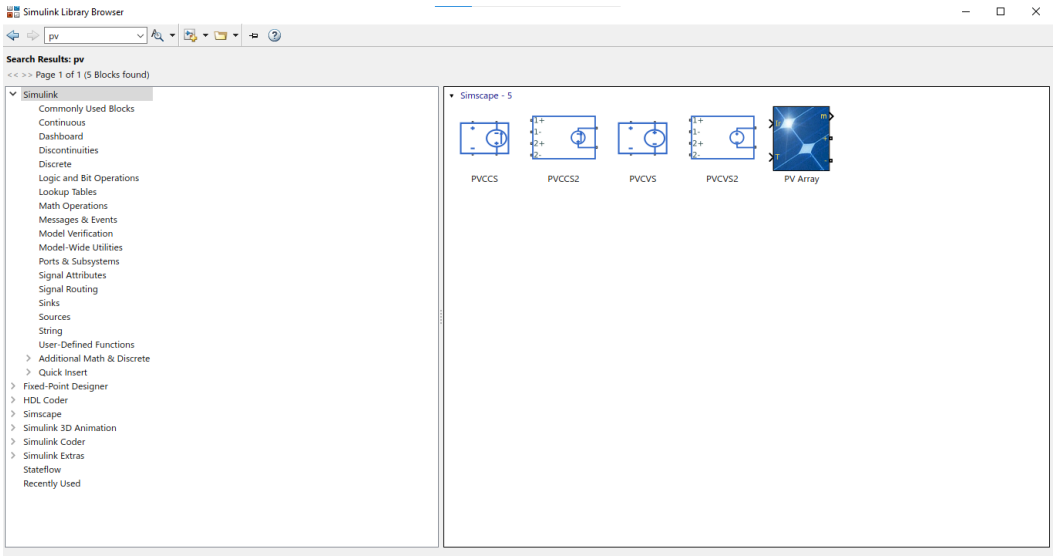
Gambar 2. 11 Jendela Awal *Simulink*

Dalam *Simulink*, beragam templat tersedia untuk digunakan. Untuk membuka berkas yang sudah ada, pilih "*Open*", sedangkan untuk menginisiasi pembuatan model sistem baru dari dasar, memilih "*Blank Model*" pada tampilan yang disediakan, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2. 12.



Gambar 2. 12 Tampilan kerja *Simulink*

Jika ingin membuat pemodelan dengan *Simulink*, untuk menjalankannya diperlukan blok komponen. Untuk melakukan ini, klik *ikon library browser* di menu bar *Simulink*, maka akan melihat tampilan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 12. Pada gambar tersebut, sisi kiri menampilkan *tree pane*, yang menampilkan semua *library Simulink* yang sudah terinstall, sedangkan sisi kanan menampilkan *contents pane*, yang menampilkan blok-blok yang ada di dalam *library* yang telah dipilih pada *tree pane*. Setelah melihat *library browser*, pilih blok komponen yang dibutuhkan.



Gambar 2. 13 *Simulink Library Browser*

2.7 Perhitungan Daya Pada Panel Surya

Daya pada panel surya terbagi menjadi dua (Hidayat and Sutrisno, 2021) yaitu sebagai berikut:

2.7.1 Daya Input Panel Surya

Daya input (P_{in}) dapat diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya menggunakan persamaan 2.7.

$$P_{in} = I_r \; x \; A \; x \; \eta \quad \text{.....(2.7)}$$

Dimana:

P_{in} = Daya input yang diterima dari Matahari ($Watt$)

I_r = Intensitas Radiasi Matahari ($Watt/m^2$)

A = Luas Area Permukaan sel Surya (m^2)

η = Efisiensi Panel Surya (%)

2.7.2 Daya Output Panel Surya

Daya output (P_{out}) pada sel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (Voc) dengan arus hubung singkat (Isc) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dilihat seperti persamaan 2.8.

$$P_{out} = V_{max} \; x \; I_{max} \quad \text{.....(2.8)}$$

Dimana:

P_{out} = Daya Output ($Watt$)

V_{max}= Tegangan pada Daya Maksimum ($Volt$)

I_{max}= Arus pada Daya Maksimum ($Ampere$)

2.8 Efisiensi Panel Surya

Semakin besar serapan energi cahaya maka semakin besar pula energi listrik dihasilkan oleh panel surya. Maka energi yang diubah pun mempunyai nilai efisiensi. Efisiensi keluaran maksimum (η) atau biasa disebut juga sebagai persentase output daya maksimum adalah perbandingan daya keluaran dengan daya intensitas matahari, dapat dilihat seperti persamaan 2.9 (Anggara and Saputra, 2023).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \; x \; 100\% \quad \text{.....(2.9)}$$

Dimana:

η = Efisiensi Panel Surya (%)

P_{in} = Daya intensitas Matahari ($Watt$)

P_{out} = Daya maksimum keluaran ($Watt$)

2.9 *Review* Hasil Penelitian Sejenis

Terdapat beberapa penelitian yang mendukung dalam pembuatan tugas akhir terkait Analisa Perbandingan Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Jenis *Silicone Monocrystalline* dengan *Polycrystalline* Terhadap Daya Keluaran, seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No.	Judul Jurnal	Peneliti, Tahun	Pembahasan Jurnal
1.	Analisis Output Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Kapasitas 10wp, 20wp, dan 30wp.	(Ta'Lim NurHidayat, 2021)	Analisis perbandingan daya output yang diperoleh dari panel 10 WP, 20 WP, dan 30 WP. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dengan membandingkan hasil daya keluaran dari ketiga panel tersebut. Tempat penelitian dilakukan di laboratorium Universitas Nahdlatul Ulama.
2.	Analisis Kinerja Sel Surya *Monocrystalline* dan Polycrystalline di Kabupaten Sumbawa NTB	(Mietra Anggara, dan	Penelitian yang diuraikan dalam jurnal ini yaitu analisis kinerja panel surya. PV yang digunakan *monocrystalline* 50Wp dan PV *polycrystalline* 50Wp. Metode yang

		Widi Saputra, 2023)	dilakukan yaitu dengan mengukur arus, tegangan, daya serta intensitas cahaya dengan sudut kemiringan 20°.
3.	Analisa Pengaruh Kemiringan Panel Surya Jenis Silicone *Monocrystalline* Terhadap Daya Output Yang Dihasilkan	(Pattiasina, Aqila Fakhira Andante, 2022)	Penelitian ini membahas mengenai Analisa Pengaruh Kemiringan Panel Surya Jenis Silicone *Monocrystalline* Terhadap Daya Output Yang Dihasilkan. Metode yang di gunakan dalam penelitian ini dengan cara mengukur suhu panel, arus, dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan sudut yang berbeda-beda dan dibandingkan dengan hasil pengukuran pada panel horizontal. Tempat penelitian dilakukan di halaman Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Siliwangi Jl. Siliwangi.
4.	Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Intensitas Cahaya Matahari Dan	(Basuki, Mohammad	Penelitian ini membahas pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap intensitas cahaya matahari, panel surya yang digunakan yaitu tipe *polikristallin*e dengan daya 10 Wp.

	Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Tipe *Polycrystalline*	Munib Rosadi, dkk., 2020)	Dalam penelitian ini variabel yang diuji yaitu sudut kemiringan (20°, 30°, dan 40°), pengujian dilakukan pada siang hari dengan kondisi cuaca cerah dan pengukuran dilakukan setiap jam mulai pukul 10.00 hingga 14.00.
5.	Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Unjuk Kerja Panel Surya	(Mardani, 2022)	Penelitian menganalisis cara mendapatkan unjuk kerja yang baik dari panel surya, yang ditunjukkan oleh daya output dan efisiensi yang tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan menggunakan 1 unit panel surya 50 Wp jenis *monocrystalline*. pengumpulan data intensitas radiasi matahari (W/m2), arus hubung singkat (Isc), dan tegangan rangkaian terbuka (*Voc*) pada sudut 10°, 20°, 30°, 40°, 50° , dan 60°. Pengujian dilakukan di kawasan kampus Universitas Bangka Belitung.

6.	*Measurement of Solar Irradiance for Determining the Optimal Tilt Angle for Photovoltaic Panels*	(Olatona and Fadairo, 2023)	Penelitian ini menjelaskan tentang pengukuran penyinaran matahari untuk menentukan sudut kemiringan optimal PV. Kinerja dua panel berkekuatan 150 WP dalam kondisi suhu dan radiasi matahari yang bervariasi pada bidang pada dua ketinggian berbeda (1 m dan 11,5 m) dari permukaan tanah ditentukan untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan dan ketinggian terhadap kinerjanya. Variabel yang diukur diantaranya intensitas cahaya matahari, arus, tegangan dan daya serta pengukuran sudut kemiringan (∠15°, 45°, 135°, 165°, dan 180°)

Berdasarkan studi penelitian terkait mengenai pengaruh kemiringan panel surya, yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terkait adalah Jenis Panel surya dan tempat penelitian dilakukan Universitas Siliwangi Kampus 2 Mugarsari Kota Tasikmalaya. Dengan perbedaan daerah tentu berbeda juga intensitas cahaya matahari dan suhu yang ada. Perbedaan yang lainnya yaitu

penelitian akan dilakukan dengan cara mengukur daya output yang dihasilkan panel surya dengan variabel yang diamati yaitu intensitas cahaya, suhu, tegangan, arus, daya, dan efisiensi. Panel surya yang digunakan adalah panel surya jenis *silicone monocrystalline* dan *polycrystalline* dengan kapasitas 50WP. Pengukuran dilakukan secara *real time* yang pertama sudut bergerak mulai dari $\angle 15^{\circ}, 30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}, 75^{\circ}, 90^{\circ}, 105^{\circ}, 120^{\circ}, 135^{\circ}, dan\ 150^{\circ}$ setiap jamnya selama 7 hari dan sudut tetap di $\angle 75^{\circ}, 90^{\circ}, dan\ 105^{\circ}$ selama 2 hari untuk setiap sudutnya.