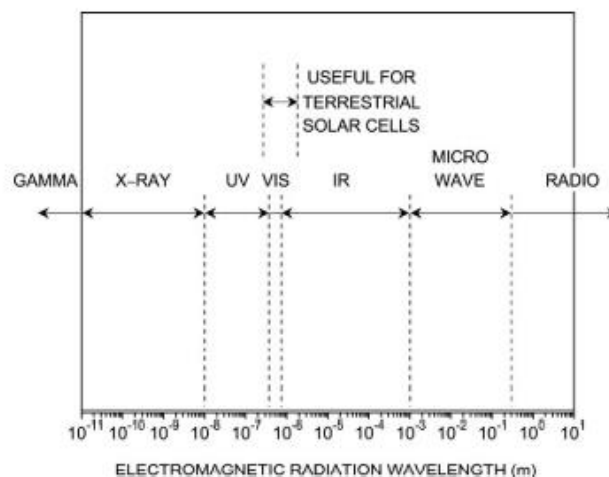


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Energi Matahari

Matahari merupakan sumber utama kehidupan di bumi yang pada dasarnya berasal dari reaksi fusi yang terjadi pada inti matahari. Matahari terdiri dari beberapa elemen yaitu 71% Hidrogen, 27% Helium, dan 2% Oksigen dan gas-gas lainnya. Jarak antara matahari dan bumi adalah $\sim 1.496 \times 10^{11}$ nilai tersebut diketahui juga sebagai *astronomical unit (AU)*. Dengan kecepatan cahaya dalam ruang hampa relatif ($2.9979 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$), foton terpancar dari matahari ke arah bumi hanya dengan waktu ~ 500 detik atau sama dengan 8.3 menit (Kirk, 2014). Energi matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi dengan bentuk cahaya yang terdiri dari foton atau partikel energi matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi matahari yang sampai pada bumi disebut juga radiasi surya global. (Vries et al., 2011)

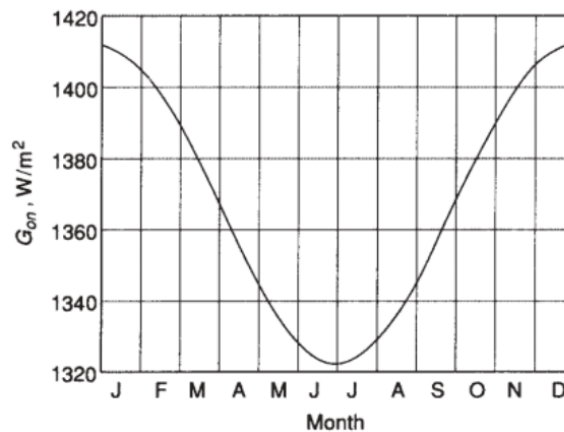


Gambar 2.1 Spektrum Radiasi Elektromagnetik (Kirk, 2014)

Panjang gelombang cahaya yang dapat ditangkap oleh panel surya adalah *VIS (Visible Light Spectrum)* yang diketahui sebagai cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia. *VIS* mempunyai panjang gelombang antara $380\text{ nm} - 750\text{ nm}$. Panjang gelombang yang lebih besar dapat menimbulkan efek panas yang lebih tinggi. Maka dari itu, panjang gelombang cahaya juga berpengaruh terhadap daya keluaran. (Sridewi et al., 2018)

2.1.1 Radiasi yang Dipancarkan oleh Matahari

Jarak eksentrisitas orbit bumi sedemikian rupa dengan jarak matahari dan bumi bervariasi sebesar 1,7%. Jarak rata-rata bumi ke matahari dari pengukuran astronomi adalah $1,495 \times 10^{11}\text{ m}$ 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 antara bumi dan matahari, maka terjadi perubahan nilai radiasi matahari extraterrestrial dalam sepanjang tahun. Gambar 2.2. menampilkan variasi nilai radiasi matahari diluar atmosfer bumi terhadap bidang yang tegak lurus dari arah radiasi (G_{on}) dan persamaan 2.1 merumuskan prediksi nilai G_{on} sepanjang tahun sebagai fungsi n (urutan hari dari 1 Januari). Sedangkan nilai radiasi aktual yang diterima oleh suatu wilayah permukaan bumi adalah perkalian antara G_{on} dan clearness index (k_T). Nilai k_T berkisar antara nol hingga satu yang bergantung pada faktor koordinat wilayah, ketinggian, iklim dan cuaca (Deceased & Beckman, 1982).



Gambar 2.2 Variasi Radiasi Matahari *Extraterrestrial* Sepanjang Tahun (Deceased & Beckman, 1982)

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

$$G_n = k_T \times G_{on} \quad 2.2$$

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. Maka 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

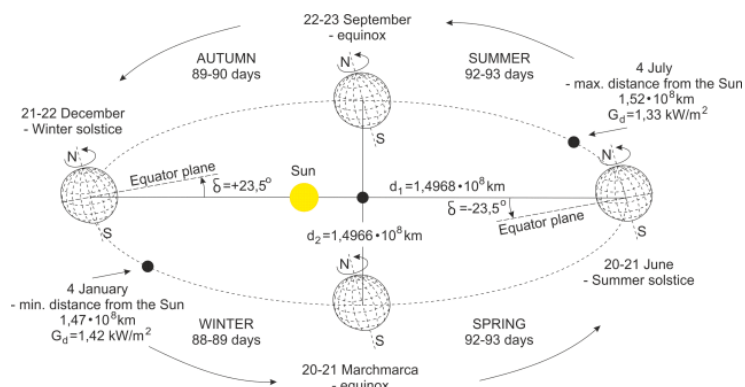
Iradiasi matahari adalah proses radiasi yang jatuh pada suatu permukaan. Semakin besar iradiasi yang diterima oleh panel surya, maka hasilnya akan berbanding lurus dengan arus dan berbanding terbalik dengan tegangan. Akibatnya, daya maksimum meningkat sejalan dengan radiasi yang diterima, maka efisiensi akan lebih baik pada radiasi yang besar (Sihite, 2021).

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. (Vries et al., 2011)

Peredaran bumi mengelilingi matahari disebut juga sebagai revolusi bumi. Revolusi bumi terjadi akibat adanya tarik menarik antara gaya gravitasi matahari dengan gaya gravitasi bumi. Pada saat revolusi, bumi tidak tegak lurus terhadap bidang ekliptika melainkan miring dengan sudut $23,5^\circ$ terhadap matahari. Salah

satu efek revolusi bumi yaitu adanya perbedaan musim pada belahan bumi selatan dan belahan bumi utara.

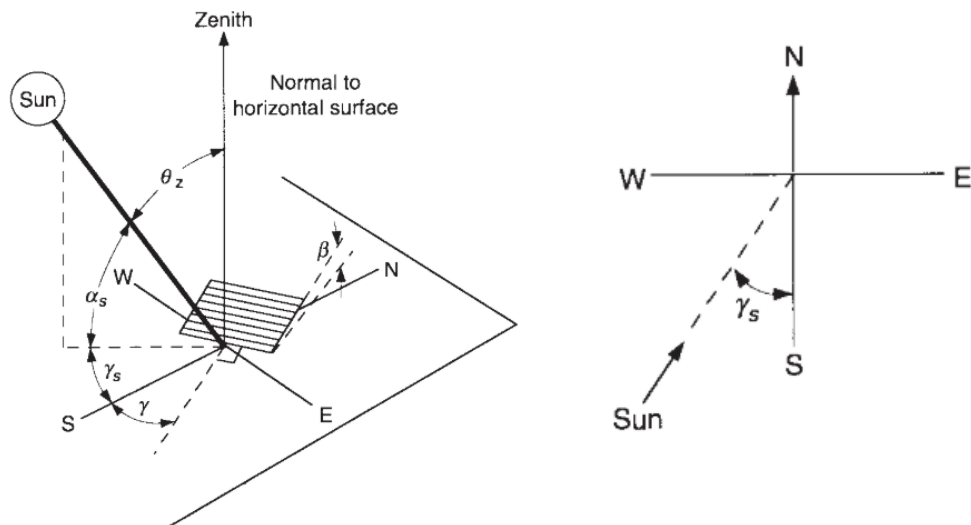


Gambar 2.3 Pergerakan Bumi Mengelilingi Matahari (Przystupa, 2019)

Adanya rotasi dan revolusi bumi tentunya berpengaruh kepada intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh suatu daerah di bumi. Maka dari itu, ada beberapa cara untuk mendapatkan nilai radiasi yang lebih besar salah satunya dengan mengatur posisi panel surya.

2.3 Posisi Matahari dan Bidang Miring di Bumi

Intensitas cahaya matahari sangat berpengaruh terhadap daya output yang dihasilkan, jika intensitas cahaya matahari yang terukur besar maka besar pula daya output yang dihasilkan. Maka dari itu posisi panel surya terhadap matahari sangat penting. Salah satu upaya untuk mendapatkan sinar matahari maksimum sehingga dapat diserap oleh panel surya adalah dengan mengusahakan sinar matahari jatuh dengan posisi tegak lurus dengan permukaan panel surya.



Gambar 2.5 Sudut-sudut Posisi Matahari terhadap Suatu Benda Miring

Parameter sudut-sudut dalam penentuan posisi matahari pada Gambar 2.4 adalah sebagai berikut:

2.2.1 Sudut *Latitude* (ϕ)

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

2.2.2 Sudut Deklinasi (δ)

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

2.2.3 Sudut *Tilt/Slope* (β)

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

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 ($-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$).

2.2.5 Sudut *Solar Azimuth* (γ)

Sudut *Solar Azimuth* merupakan sudut deviasi dari proyeksi radiasi matahari pada bidang horizontal terhadap garis selatan-utara, yang bernilai positif untuk arah ke barat.

2.2.6 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.

2.2.7 Sudut Kedatangan atau *Incidence Angle*

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

2.2.8 Sudut *Zenith*

Sudut *Zenith* merupakan sudut antara radiasi matahari 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 & Beckman, 1982). Persamaan 2.3 menunjukkan sudut deklinasi (δ) dari

matahari di permukaan bumi sebagai fungsi dari n (urutan hari dari 1 Januari). Incidence angle (θ) antara radiasi matahari terhadap garis normal dari suatu permukaan berbagai sudut di wilayah bumi dapat dirumuskan dengan persamaan 2.4. Sedangkan untuk radiasi matahari khusus yang menghadap garis normal dari permukaan horizontal dirumuskan dengan menggunakan persamaan sudut zenith (θ_z) seperti yang ditunjukkan di persamaan 2.5.

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

$$\begin{aligned} \cos\theta = \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \\ \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \end{aligned} \quad 2.4$$

$$\cos\theta_2 = \cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta \quad 2.5$$

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 (Deceased & Beckman, 1982) yaitu:

$$\begin{aligned} G_T &= G_n \cdot \cos\theta \\ &= k_T \times G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365}\right) \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad 2.6$$

Persamaan 2.6 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 (Handoyo et al., 2013). 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 & Beckman, 1982).

$$\beta = |\phi - \delta|$$

$$\gamma = \begin{cases} 0^\circ & \text{Jika } \phi - \delta > 0 \\ 180^\circ & \text{Jika } \phi - \delta \leq 0 \end{cases} \quad 2.7$$

Pengaturan kemiringan dan arah bidang di persamaan 2.7 hanya didasarkan pada koordinat garis lintang wilayah tersebut atau sudut latitude (ϕ) dan sudut deklinasi (δ) matahari pada saat itu. Meskipun sudut deklinasi (δ) merupakan fungsi dari hari (persamaan 2.3), namun pengaturan sudut tilt/slope (β) dapat dilakukan dengan hanya mengambil nilai hari pada pertengahan bulan (misalnya pada tanggal 15). Sudut azimuth (γ) umumnya diatur untuk menghadap kedalam dua pilihan arah yaitu 0° untuk arah selatan dan 180° untuk arah utara. Sedangkan untuk kasus dimana struktur akan diatur pada posisi yang tetap/konstan sepanjang tahun, maka nilai sudut β diambil berdasarkan nilai rata-rata dari perhitungan disetiap bulannya (Handoyo et al., 2013)

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*.

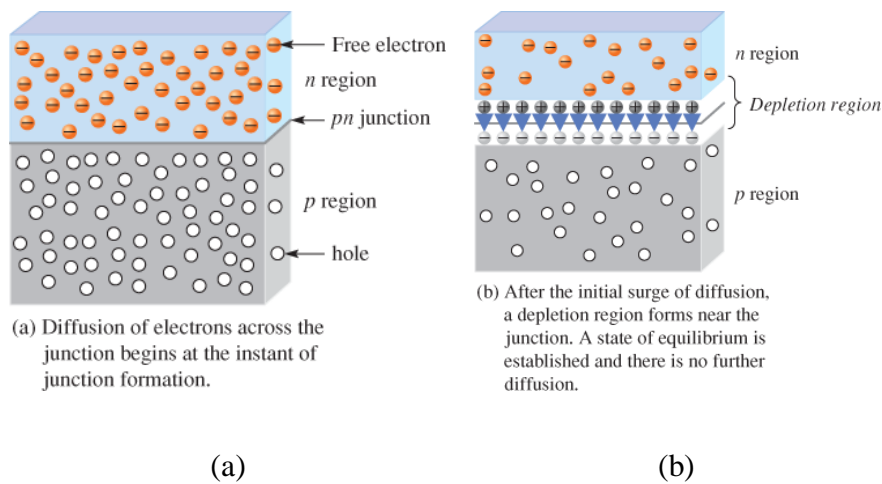
Energi yang dihasilkan oleh panel surya berdasarkan energi matahari yang ada, juga berdasarkan arah panel surya terhadap matahari. Besar arus yang dihasilkan panel surya berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari. Sedangkan besar intensitas matahari selalu berubah sesuai dengan perubahan 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 negative) 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*”.

Dalam keadaan ini, hole (pembawa muatan positif) dapat terhubung langsung ke kutub positif, begitupula sebaliknya muatan elektron (pembawa muatan negative) 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 negative. Maka dari itu, dalam kondisi *reversed bias* dalam PN-junction ada arus kecil yang timbul (mikro ampere). Arus kecil ini disebut juga *reverse saturation* atau *leakage current* (arus bocor).



Gambar 2.6 *PN Junction* pada panel surya (a) sebelum disinari (b) sesudah disinari (Electrical Academia, 2018)

2.4.2 Jenis-Jenis Panel Surya

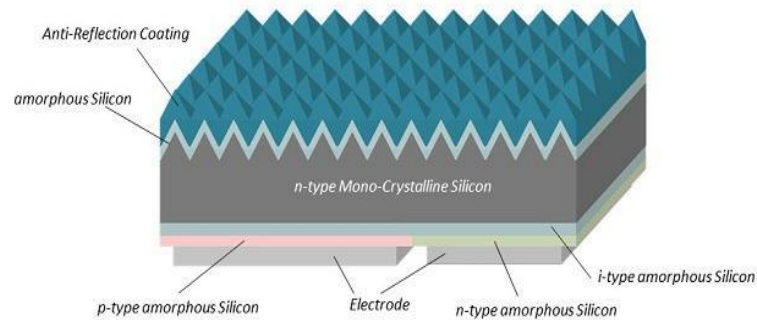
Panel Surya atau Sel PV tergantung kepada efek dari *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Jenis-jenis panel surya dibedakan berdasarkan teknologi pembuatannya, yaitu:

a. Monokristal (*monocrystalline*)

Panel surya berjenis *monocrystalline* terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis. Kepingan kristal tipis ini dibuat memakai teknologi khusus sehingga hasilnya identik dan berkinerja tinggi. Dengan menggunakan teknologi tersebut menjadikan jenis panel *monocrystalline* ini yang paling efisien jika dibandingkan dengan jenis lain sekitar 15% sampai 20% yang membuat harganya lebih tinggi dibanding jenis lain.

Sesuai dengan namanya jenis *monocrystalline* ini dikenal sebagai sel kristal tunggal berwarna hitam pekat yang terbuat dari silikon yang sangat murni sehingga menjadi bahan paling efisien untuk konversi sinar matahari menjadi energi. Kelebihan lain dari panel *monocrystalline* ini adalah panel yang paling bertahan lama diantara panel yang berbasis silikon dapat mencapai 25 tahun pemakaian.

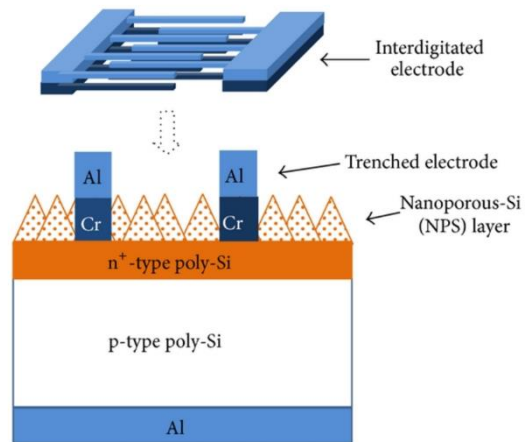
Kelemahan panel jenis *monocrystalline* ini adalah saat disusun membentuk modul banyak menyisakan tempat kosong karena umumnya bentuknya mengikuti bentuk batangan kristal silikonnya biasa dijumpai bentuknya segi enam atau bulat. Selain itu, efisiensi dari panel ini dapat turun drastis jika dalam cuaca berawan.



Gambar 2.7 Struktur Modul Surya Jenis *Monocrystalline* (Sharp, 2018)

b. Polikristal (*polycrystalline*)

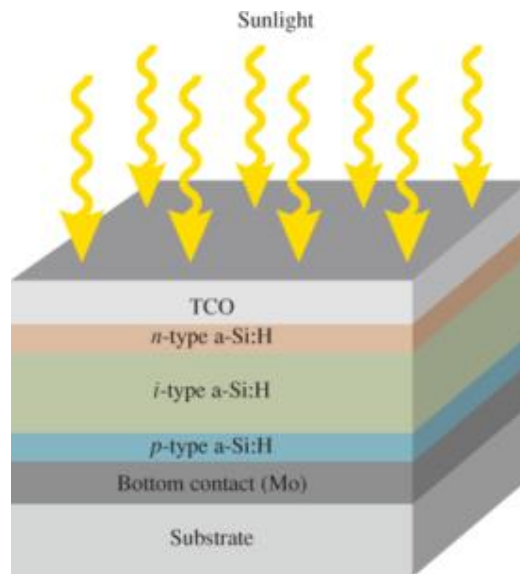
Panel surya berjenis *polycrystalline* ini merupakan panel yang dibuat dengan cara melelehkan silicon didalam tungku keramik, kemudian didinginkan secara perlahan untuk mendapatkan campuran silicon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Panel surya jenis *polycrystalline* ini kurang efektif dibandingkan dengan panel surya jenis *monocrystalline*. Panel ini memiliki efektifitas kurang lebih 13-18% dan kelebihan yaitu harga yang lebih rendah dibandingkan panel *monocrystalline*.



Gambar 2.8 Struktur Modul Surya Jenis *Polycrystalline* (Wu & Tang, 2014)

c. *Thin film photovoltaic*

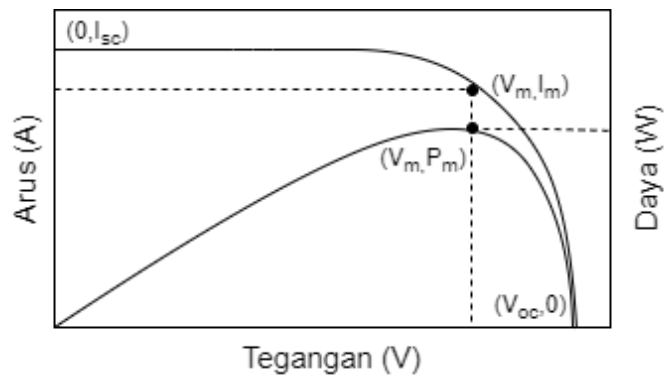
Panel surya jenis ini merupakan panel surya dengan dua lapisan lapisan tipis mikrokrystal-silikon dan amorphous yang memiliki efisiensi panel mencapai 8.5%. Oleh karena itu, untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada panel surya jenis monocrystalline dan polycrystalline. Jenis panel surya dengan inovasi yang terbaru adalah *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* yang merupakan panel surya dengan tiga lapisan yang sangat efisien jika dalam cuaca yang sangat berawan sehingga dapat menghasilkan daya listrik sampai dengan 45% lebih tinggi dari jenis panel surya yang lainnya dengan daya yang diterima setara.



Gambar 2.9 Struktur Modul Surya Jenis *Thin-Film* (Electrical Academia, 2020)

2.4.3 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 (V_{oc}) adalah tegangan maksimum yang dapat dihasilkan panel surya tanpa beban (*load*) dan pada saat tidak ada arus ($I = 0 \text{ A}$). Short circuit current (I_{sc}) 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 P_{mpp} , dimana P_{mpp} diperoleh dari hasil perkalian antara V_{mp} dan I_{mp}



Gambar 2. 10 Kurva Karakteristik Tegangan dan Arus Panel Surya

2.5. Faktor Pengoperasian Panel Surya

Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari pengoperasian panel surya adalah sebagai berikut (Depari, 2018):

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. Orientasi Panel Surya terhadap Matahari

Jika panel surya berada pada bagian utara bumi, maka lebih baik panel surya dapat menghadap ke arah selatan sehingga panel surya dapat menerima radiasi matahari yang lebih besar. Begitu juga sebaliknya untuk panel surya yang

berada pada bagian selatan bumi, maka lebih baik panel surya menghadap ke arah utara.

4. Sudut Kemiringan Panel Surya

Untuk mempertahankan sinar matahari yang akan jatuh ke permukaan panel surya secara tegak lurus maka energi yang didapatkan maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ 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.

5. Keadaan Atmosfer Bumi

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

2.6. Perhitungan Daya Pada Panel Surya

Daya pada panel surya terbagi menjadi dua yaitu sebagai berikut:

2.6.1 Daya Input

Perhitungan daya input dapat menggunakan persamaan sebagai berikut

$$P_{in} = G \times A \quad (2.8)$$

Dengan:

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

G = Intensitas Matahari (*Watt/m²*)

A = Luas Area Permukaan Modul Panel Surya (*m²*)

2.6.2 Daya Output

Perhitungan daya output dapat menggunakan persamaan sebagai berikut

$$P_{out} = V_{max} \times I_{max} \quad (2.9)$$

Dengan:

$$P_{out} = \text{Daya Output} \quad (\text{Watt})$$

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

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

2.7. 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 terhadap energi cahaya yang dipakai, rumusnya adalah sebagai berikut:

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

Dimana:

$$\eta = \text{Efisiensi Panel Surya} \quad (\%)$$

$$P_{out} = \text{Daya output} \quad (\text{Watt})$$

$$P_{in} = \text{Daya input} \quad (\text{Watt})$$

2.8. Review Hasil Penelitian Sejenis

Tabel 2. 1 Review Hasil Penelitian Sejenis

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal
1	Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Intensitas Cahaya yang Dihasilkan	Junaedi Sihite	Program Studi Teknik Elektro, Universitas HKBP Nommensen, 2021	Penelitian ini membahas mengenai pengaruh sudut kemiringan dan arah panel surya terhadap intensitas cahaya yang berpengaruh terhadap keluaran panel surya. Panel surya menangkap intensitas secara maksimal apabila sudut kemiringan dan arah panel surya tegak lurus terhadap sinar datang matahari.
2	Analisis Perubahan Efisiensi Akibat Perubahan Temperatur Panel Surya	Gokedo H. Sitanggang	Program Studi Teknik Elektro, Universitas HKBP Nommensen, 2022	Penelitian ini membahas mengenai beberapa aspek yang dapat mempengaruhi efisiensi panel surya diantaranya adalah temperatur dan intensitas cahaya matahari. Dalam percobaan yang dilakukan menghasilkan efisiensinya yang menurun akibat naiknya temperatur yang disebabkan oleh naiknya hasil tegangan sehingga nilai efisiensinya menurun.
3	Pengaruh Arah Posisi Pemasangan Panel Surya Terhadap Output Daya Keluaran	Yusrijal Shalih, Suratno	Prodi D4 Teknik Listrik, Politeknik Negeri Samarinda, 2019	Penelitian ini membahas mengenai pengaruh arah dan posisi pemasangan panel surya terhadap tegangan dan arus. Dengan penelitian ini diketahui bahwa semakin besar intensitas cahaya matahari maka semakin besar pula daya keluaran yang dihasilkan.

Berdasarkan studi penelitian terkait mengenai pengaruh kemiringan panel surya, yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terkait adalah daerah tempat penelitian yaitu penelitian dilakukan di 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 *monocrystalline* dengan kapasitas 50WP. Pengukuran dilakukan setiap sudut kemiringan 15° menghadap ke arah timur sampai ke arah barat.