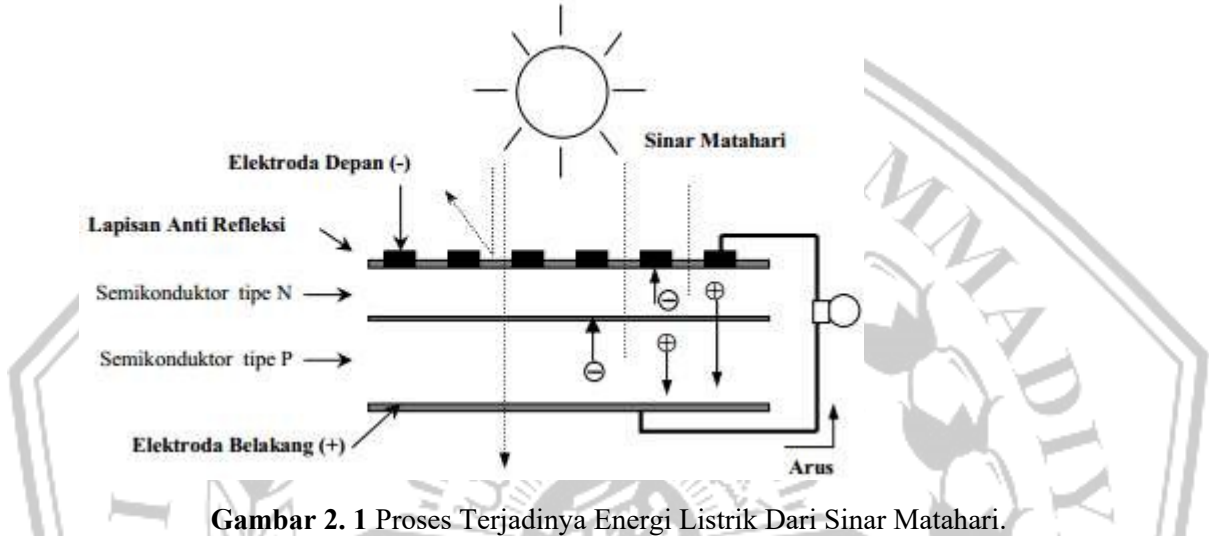


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya pada dasarnya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor tipe p dan n (semikonduktor sambungan p-n). Ketika terkena sinar matahari, sambungan ini menghasilkan aliran elektron, yang dikenal sebagai aliran arus listrik [1]. Proses konversi cahaya matahari menjadi listrik dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Proses Terjadinya Energi Listrik Dari Sinar Matahari.

Gambar 2.1 menunjukkan proses yang digunakan penyerap atau absorber untuk mengubah energi matahari menjadi listrik. Namun, setiap lapisan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi sel surya. Karena sinar matahari terdiri dari berbagai jenis gelombang elektromagnetik, diharapkan bahwa penyerapan dapat menangkap sebanyak mungkin radiasi dari cahaya matahari. Ketika sinar matahari yang terdiri dari foton jatuh pada permukaan absorber (bahan sel surya), foton tersebut akan diserap, dipantulkan, atau dilewatkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Energi band-gap (jumlah energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari ikatan kovalen sehingga terjadi aliran listrik) adalah satu-satunya foton yang memiliki kemampuan untuk melepaskan elektron dari ikatan atomnya, yang memungkinkan aliran listrik.

Energi foton (hc) harus sedikit lebih besar atau di atas energi band-gap rangkaian kovalen yang dilepaskan kemudian diarahkan terhadap permukaan panel. Jika ini terjadi, energi yang berasal dari foton akan dijadikan panas pada modul sel surya. Oleh karena itu, sel surya sangat penting untuk mengatur bahan yang digunakan, mengubah struktur molekul seperti semikonduktor yang digunakan. Beberapa sel surya digabungkan menjadi papan sel surya untuk menghasilkan banyak tegangan, arus, atau daya dalam modul ini. Untuk melindungi modul dari lingkungan, permukaannya ditutupi dengan kaca atau bahan transparan lainnya.

2.1.1 Konfigurasi Rangkaian Panel Surya Seri (S)

Konfigurasi panel surya Seri (S) didasarkan pada pengaturan semua modul panel surya yang disusun secara seri. Arus yang mengalir pada rangkaian seri besarnya sama dapat dikatakan arus Tunggal yang mengalir diseluruh panel surya. Semua modul yang dihubungkan secara seri memberikan tegangan yang tinggi dan arus yang kecil, sedangkan rangkaian panel yang disusun secara paralel akan menghasilkan tegangan yang rendah dan arus yang mengalir tinggi. Saat konfigurasi panel seri bekerja pada kondisi intensitas Cahaya matahari yang sama maka arus yang berada pada rangkain seri sama, sedangkan pada tegangannya nilainya berubah-ubah.

2.1.2 Konfigurasi Rangkaian Panel Surya Seri Pararel

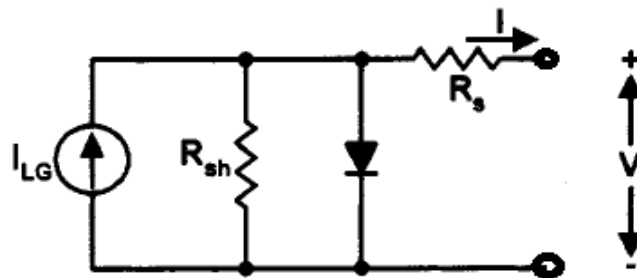
Konfigurasi panel surya seri prarel (SP) dibagi menjadi beberapa string seri yang terhubung secara paralel satu sama lain. Modul panel surya yang dihubungkan secara seri paralel tergantung pada tegangan yang diinginkan dan arus, tegangan keluaran pada rangkaian seri paralel tergantung seberapa banyak modul yang terhung secara seri dan besaran arus yang mengalir tergantung dari seberapa banyak string seri yang terhubung secara paralel.

Rangkain seri paralel adalah rangkaian yang paling umum digunakan karena mudah dalam perakitan dari beberapa modul yang spesifikasi, selain itu juga ekonomis dan tidak ada koneksi yang lebih, artinya arus disetiap barisan modul panel surya bervariasi berdasarkan Tingkat isolasi, tetatapi tegangannya tetap.

2.1.3 Rangkaian Seri Pada Panel Surya

Sub bab ini menerangkan parameter sel surya yang paling berpengaruh pada kurva daya, yaitu arus hubungan singkat dan tegangan hubungan terbuka untuk parameter internal, sedangkan parameter eksternal meliputi temperatur dan *irradiance*. Daya maksimum dan efisiensi turut dimasukan untuk membandingkan sel surya.

2.1.4 Karakteristik Arus-Tegangan (I-V) Sel Surya.



Gambar 2. 2 Rangkaian Ekvivalen Sel Photovoltaic

Berdasarkan gambar 2.2 terlihat bahwa keluaran sel *photovoltaic* sangat bergantung pada: I_{LG} (arus yang dihasilkan cahaya), dioda, dan R_{sh} (hambatan shunt). Berikut ini merupakan persamaan hubungan antar ketiganya yang ditunjukkan oleh persamaan berikut ini

$$I = I_{LG} - I_{OS} \left\{ \exp \left[\frac{q}{AKT} (V + IR) \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Persamaan arus saturasi

$$I = I_{or} \left| \frac{T}{T_r} \right|^3 \exp \left[\frac{qE_{GO}}{B_k} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

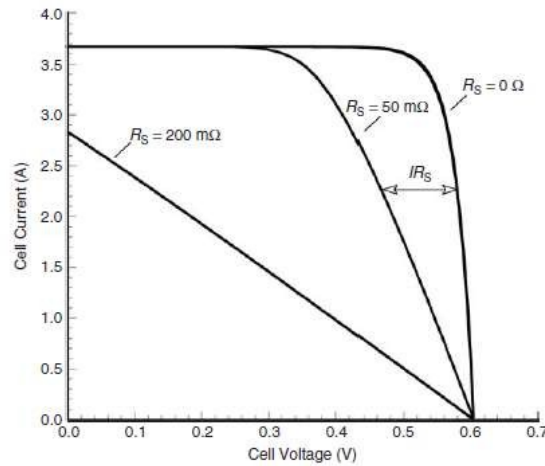
Persamaan arus yang dihasilkan cahaya

$$I_{LG} = [I_{SCR} + K_1(T - 25)] \frac{\lambda}{100} \dots \dots \dots (2.3)$$

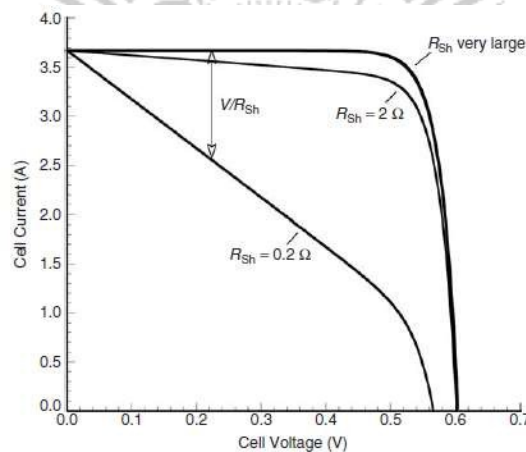
Keterangan :

- I : Arus (A)
- I_{LG} : Arus hasil dari cahaya (A)
- I_{os} : Arus hasil dioda(A)
- I_{or} : Arus saturasi saat T_r (A)
- I_{SCR} : Arus *sort circuit* saat 25°C dan 1000 W/m²
- K_1 : koefisien arus temperatur *sort circuit* saat I_{SCR} , 0,0017 A/°CRs
- R_s : hambatan seri (Ω)
- R_{sh} : hambatan shunt (Ω)
- V : tegangan (V)
- T : temperatur (°C)
- λ : irradian (W/m²)
- k : kostanta boltzmam, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
- q : muatan elektron, $1,6 \times 10^{19}$ C
- $A=B$: *quality favtor* (nilainya antara 1-2)
- E_{GO} : *band gap* silikon
- T_r : temperatur referensi, 301,18 K

Terlihat pada gambar 2.3 dan gambar 2.4. hambatan R_{sh} tidak mempengaruhi arus short, tetapi mempengaruhi tegangan open. Hal sebaliknya pada hambatan R_s tidak akan mempengaruhi tegangan open, tetapi akan mempengaruhi arus shortnya.

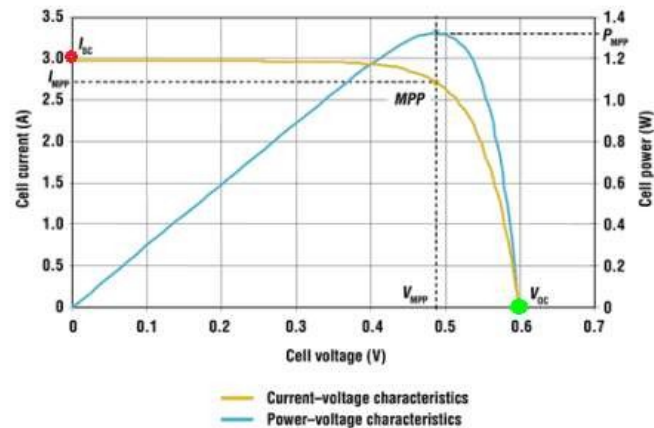


Gambar 2. 3 Kurva Efek Dari Variasi Hambatan R_s Terhadap Sel Surya ($R_{sh} \rightarrow \infty$)



Gambar 2. 4 Kurva Hasil Dari Variasi Hambatan R_{sh} Terhadap Kurva Karakteristik Sel Surya ($R_s \rightarrow 0$)

Untuk melihat karakteristik arus-tegangan (I-V) dari *photovoltaic*, biasanya diberikan *irradiance* sebesar 1000 W/m^2 temperatur 25°C sedangkan tegangannya divariasikan seperti yang terlihat pada gambar 2. 5 berikut ini.



Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Arus-Tegangan (I-V) Photovoltaic

2.1.5 Arus Hubungan Singkat (I_{sc}) Dan Tegangan Open (V_{oc}) Pada Sel Surya

Arus *short circuit* (I_{sc}) arus yang mengalir dengan nilai 0. Dalam gambar 2.5 terlihat pada titik merah merupakan I_{sc} . Pada keadaan PV tanpa ada hambatan pasif $I_{sc} = I_{LG}$, namun pada saat memiliki hambatan pasif persamaan 2.1 akan menjadi sebagai berikut.

$$I = I_{LG} - I_{OS} \left\{ \text{EXP} \left[\frac{qI_{sc}R_s}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{I_{sc}IR_s}{R_{sh}} \dots\dots\dots(2.4)$$

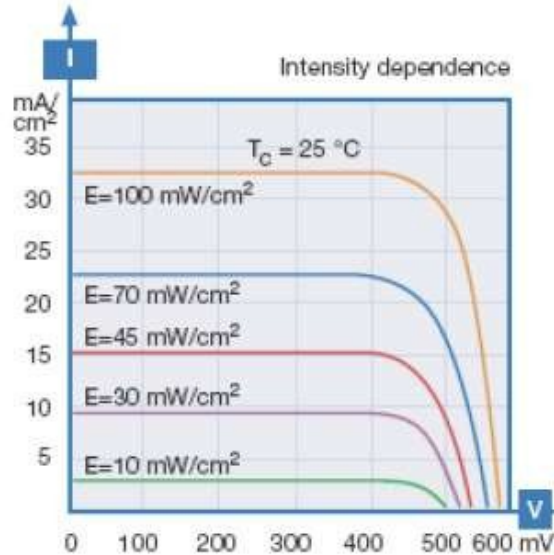
V_{oc} adalah tegangan yang ada pada gambar diatas yang merupakan tegang maksimum ketika tanpa beban.

2.1.6 Pengaruh *Irradiance* Terhadap Sel Surya

Dalam rentang panjang gelombang dari 300 nm hingga 4 mikron, sebagian dari radiasi matahari dipantulkan oleh atmosfer (dalam bentuk radiasi difus), dan sebagian lagi mencapai permukaan bumi (dalam bentuk radiasi langsung). Kedua jenis radiasi ini diukur untuk mengetahui berapa banyak radiasi yang diterima sel surya. Pengukuran ini sangat penting untuk mengetahui berapa banyak radiasi yang diterima sel surya.

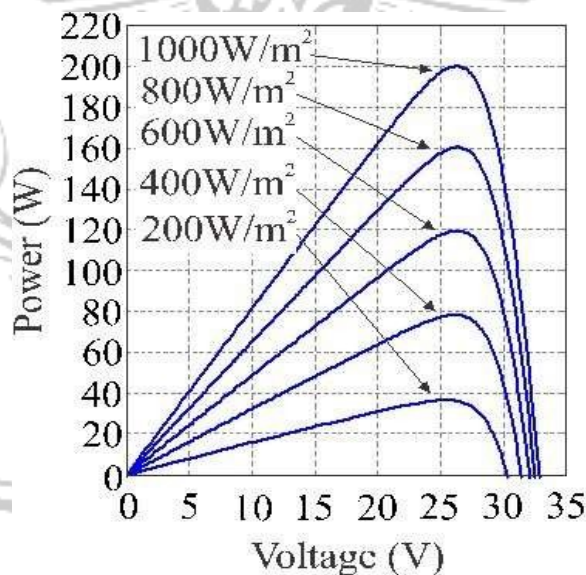
- *Irradiance* – Integral dari *spectral irradiancance* untuk keseluruhan panjang gelombang, satuan: W/m^2 .
- Radiasi – Integral waktu dari *irradiance* untuk jangka waktu tertentu oleh sebab itu, satuannya adalah sama dengan satuan energi, yaitu J/m^2 – hari, J/m^2 – bulan atau J/m^2 – tahun.
- *Spectral irradiance* – daya yang diterima oleh satu unit area dalam bentuk differensial panjang gelombang $d\lambda$, satuan : $W/m^2 \mu m$.

Irradiance (W/m^2). Berdasarkan persamaan 2.3 disubstitusikan pada persamaan 2.1 terlihat bahwa irradian (λ) berbanding lurus dengan arus keluaran PV. Pengaruh irradian terhadap arus keluaran PV dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini



Gambar 2. 6 Karakteristik Kurva I-V Terhadap Perubahan Irradiance

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.7 berikut, berdasarkan penjelasan di atas, keluaran daya yang dihasilkan pun berbanding lurus dengan peningkatan irradiansi.



Gambar 2. 7 Karakteristik Power (W)-Voltage(V) Terhadap Perubahan Irradiance

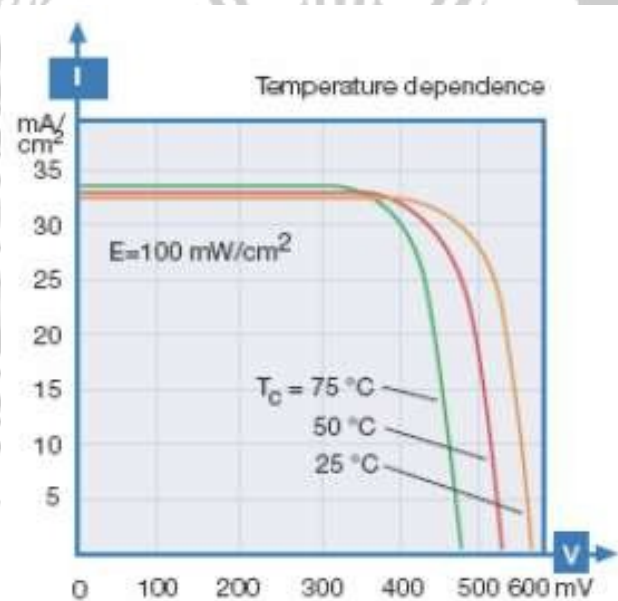
Pada umumnya satuan irradiansi menggunakan w/m^2 , namun ada satuanlain yang digunakan yaitu lux. Biasanya satuan lux ini digunakan oleh alat lux meter. Tidak ada hubungan langsung antara lux dan W/m^2 , tergantung pada panjang gelombang atau warna cahaya. Sehingga untuk mendapatkan konversi antara lux dan W/m^2 perlu dilakukan percobaan. Namun, ada perkiraan

konversi 0,0079 W/m² per Lux [9]. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$1\text{lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

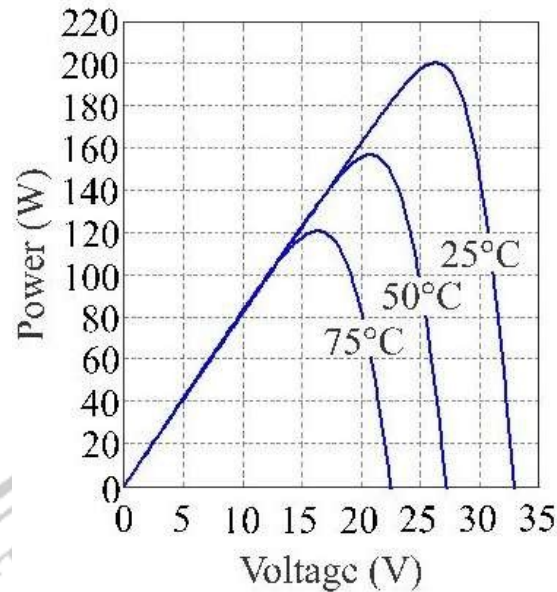
2.1.7 Pengaruh Temperatur Terhadap Sel Surya

Biasanya, satuan iradiasi yang digunakan adalah w/m², namun ada juga satuan lain yang digunakan yaitu lux. Satuan lux ini biasanya digunakan oleh alat lux meter. Tidak ada hubungan langsung antara lux dan W/m², karena hal ini bergantung pada panjang gelombang atau warna cahaya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan konversi antara lux dan W/m² perlu dilakukan percobaan. Namun, terdapat perkiraan konversi yaitu 0,0079 W/m² per lux [9]. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut. terlihat perubahan temperatur berpengaruh besar terhadap Voc, hal ini berlawanan dengan pengaruh *irradiance* terhadap kenaikan Voc. akibat peningkatan temperatur menurunkan *band gap* pada bahan semi konduktor



Gambar 2. 8 Karakteristik Kurva I-V Terhadap Perubahan Temperatur

Berikut merupakan bentuk karakteristik daya-tegangan pada saat *irradiance* konstan sedangkan temperatur divariasikan seperti yang ditunjukkan gambar 2.9.



Gambar 2.9 Karakteristik Kurva I-V Terhadap Perubahan Irradiance

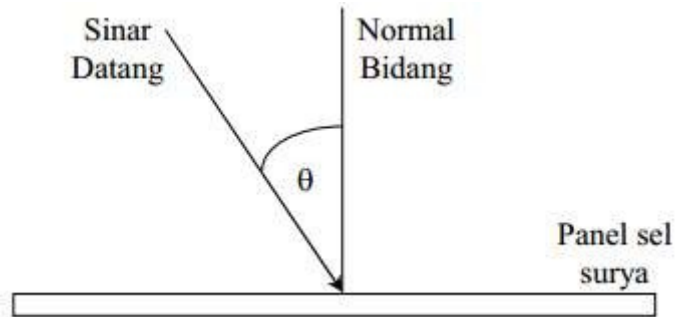
2.1.8 Maksimum Power Point (Mpp)

Seperti yang terlihat pada gambar 2.5 saat tegangan divariasikan dari 0 volt hingga tegangan *open circuit*, arus PV akan terus berkurang hingga 0 Amper. Dan daya pada titik tertinggillah yang disebut dengan maksimum power point. Arus pada saat mpp akan disebut I_{mpp} , sedangkan tegangan akan disebut V_{mpp} . Nilai I_{mpp} dan V_{mpp} akan selalu lebih daripada nilai I_{sc} dan V_{oc} .

2.2 Pemantulan Cahaya

Cahaya digambarkan sebagai garis lurus yang disebut berkas cahaya. Sedangkan berkas cahaya adalah kelompok sinar-sinar cahaya. Berkas cahaya dikelompokkan menjadi tiga macam berdasarkan arah datang, yaitu: Berkas cahaya sejajar, berkas cahaya divergen (menyebar), Berkas cahaya konvergen (mengumpul). Berkas cahaya sejajar biasa dilihat dari sinar cahaya yang dipancarkan oleh lampu senter. Untuk berkas cahaya divergen (menyebar) seperti sinar dari lampu penerang ruangan atau sinar hasil pembiasan oleh lensa cekung. Sedangkan berkas cahaya konvergen (mengumpul) seperti halnya pembiasan cahaya oleh cermin cekung atau oleh lensa cembung

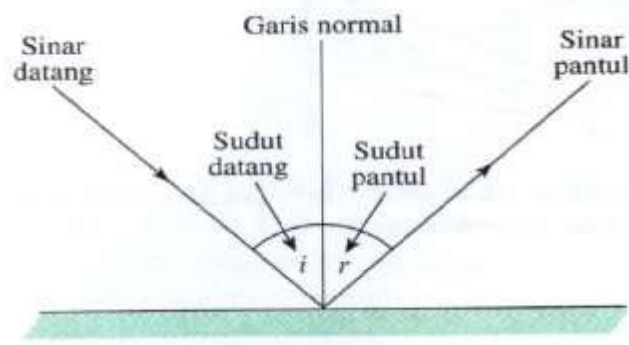
Apabila cahaya mengenai suatu permukaan maka cahaya akan dipantulkan. Arah dari pantulan ini akan membentuk sudut terhadap garis normalnya, dimana garis normal itu sendiri merupakan garis tegak lurus terhadap bidang pantul, serta sudut dari sumber cahaya akan mempengaruhi sudut dari cahaya yang dipantulkan. Secara matematis adalah “sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada satu bidang datar. sudut datang (i) sama dengan sudut pantul (r)” seperti yang terlihat pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2. 10 Konsep Pemantulan Cahaya

2.3 Pengaruh Radiance Yang Datang Dengan Radiasi Yang Diterima

Intensitas radiasi yang diterima oleh panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*), yakni sudut antara arah sinar matahari yang datang dan garis tegak lurus terhadap bidang panel, seperti yang ditunjukkan dalam ilustrasi pada gambar berikut ini..



Gambar 2. 11 Arah Sinar Datang Membentuk Sudut Terhadap Normal Bidang

Saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang modul, kemudian membentuk sudut siku seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11, modul photovoltaic akan menyebabkan kecilnya radiasi yang ditunjukkan gambar dengan faktor $\cos \theta$. Pada kondisi lain, dengan kondisi yang lain panel surya akan menerima radiasi secara optimum.

$$I_r = I_{r0} \cos \theta \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- I_r =radiasi yang diserap sel surya.
- I_{r0} =radiasi yang mengenai permukaan sel
- θ = sudut siku cahaya datang terhadap bidang modul

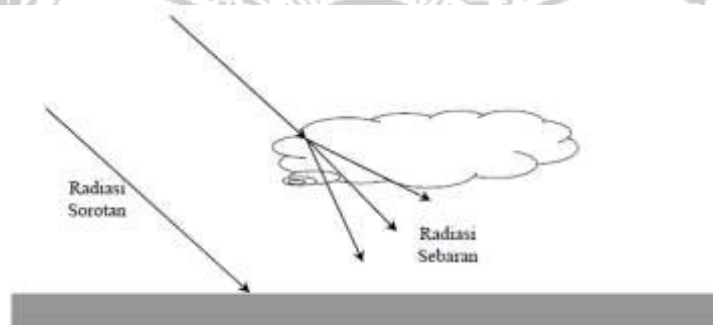
2.4 Karakteristik Cermin Datar

Permukaan halus seperti cermin dapat dengan tepat menciptakan pantulan bayangan benda. Cermin datar memiliki bidang pantul datar, Beberapa karakteristik bayangan cermin datar adalah sebagai berikut: bayangan yang dihasilkan dari cermin sama dengan jarak benda dari cermin,

1. Bayangan yang dihasilkan bersifat maya
2. Bayangan yang terbentuk sama dengan ukuran benda
3. Bersifat berlawanan (simetris)
4. Bentuk yang dihasilkan sama persis.

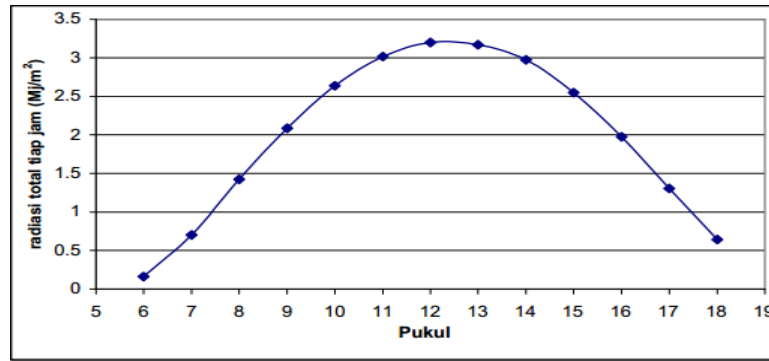
2.5 Radiasi Pada Permukaan Bumi

Konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari yang tersedia di luar atmosfer bumi menurun setelah diserap dan dipantulkan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. sebaran radiasi adalah pancaran yang diakibatkan oleh radiasi menjadikan molekul-molekul gas, kotoran (debu) dan uap air dari atmosfer sebelum turun ke permukaan bumi. ozon disini menyerap radiasi ultraviolet yang pendek, sementara karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi . Perbedaan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 12 Sebaran Radiasi Mengenai Bumi

Faktor-faktor di atas menyebabkan intensitas radiasi yang diterima permukaan bumi ini bervariasi dari waktu-kewaktu. ini dapat dilihat pada grafik pada gambar yang ditunjukkan titik biru menunjukkan jumlah radiasi yang mencapai permukaan bumi setiap hari. Pada pagi dan sore hari, intensitas radiasi cenderung lebih kecil, akibat sinar matahari difusi oleh atmosfer bumi karena arahnya tidak tegak lurus terhadap permukaan bumi.



Gambar 2. 13 Grafik Harian Matahari

