

Daya Output Optimal Pada Jenis Solar Cell Monocrystalline dan Polycrystalline

Yulianta Siregar, Hasdari Helmi, Syahrawardi, Afron, Yehezkiel

Departement Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,
Jl. Dr. T. Mansyur No. 9, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia
julianta_srg@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas penggunaan solar cell yang optimal dengan menggunakan 2 jenis solar cell 100 Wp yaitu Monocrystalline dan Polycrystalline dan di lakukan di gedung Departement Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, pada bulan Oktober 2015. Jenis Monocrystalline menggunakan sudut kemiringan solar cell 0° - 60° , sementara jenis Polycrystalline menggunakan reflektor (Cermin) dengan sudut reflektor 50° , 60° dan 70° . Hasil daya output optimal yang di peroleh untuk Monocrystalline adalah sebesar 100 Watt, pada Jam 12.00 WIB dengan sudut kemiringan solar cell 10° dan berada pada posisi sudut azimuth matahari, sedangkan untuk Polycrystalline daya output optimal sebesar 100 Watt , pada jam 12.00 WIB dengan sudut kemiringan reflektor 60° dan sudut kemiringan solar cel 10° .

Kata kunci : Monocrystalline, Polycrystalline, Reflektor

ABSTRACT

This research discusses the optimal use of solar cell by using two types of solar cell 100 Wp Monocrystalline and Polycrystalline and that is done in the building Elektro Engineering Department, University of North Sumatra, in October 2015. Type Monocrystalline solar cell using a slope angle of 0° - 60° , while the type Polycrystalline use Reflector (Mirror) with a reflector angle of 50° , 60° and 70° . Results output power optimally obtained for Monocrystalline is equal to 100 Watt, at 12.00 am, with the slope angle of the solar cell 10° and are at the azimuth angle of the sun, while for Polycrystalline power optimal output of 100 Watt, at 12.00 pm with a slope angle reflector 60° and 10° slope angle solar cel.

Keywords : Monocrystalline, Polycrystalline, Optimal

1. PENDAHULUAN

Krisis energi yang terjadi pada saat ini bukanlah merupakan hal baru dibahas, sementara energi listrik semakin hari semakin dibutuhkan. Sekarang ini sumber pembangkit energi listrik yang paling dominan yaitu menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak atau sering disebut energi fosil. Pemanfaatan energi fosil semakin hari semakin meningkat, yang menyebabkan energi fosil yang ada dalam bumi ini semakin menipis, dan pada suatu saat persediaan akan energi fosil akan langka dan bahkan bisa habis. Disamping itu juga, energi ini memiliki dampak negatif terhadap lingkungan sekitarnya karena dapat menimbulkan polusi udara.

Dari permasalahan tersebut diatas haruslah ada upaya untuk menemukan energi baru terbarukan sebagai alternatif apabila terjadi krisis energi fosil. Salah satunya adalah sel surya (solar cell). Secara astronomis Indonesia terletak pada 60 LU - 110 LS dan 950 BT – 1450 BT. Hal ini membuat Indonesia terletak dikawasan tropis dan dilewati garis katulistiwa sehingga tingkat radiasi matahari di Indonesia memiliki rata-rata cukup tinggi perharinya, yaitu 4,5 kWh/m²/hari dan ini membuat potensi besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[1].

Panel surya adalah alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor, yang jika terkena cahaya matahari akan mengakibatkan

elektron pada semikonduktor mengalir. Aliran elektron pada semikonduktor menimbulkan adanya arus listrik.

Banyak parameter yang dapat mempengaruhi efisiensi panel surya. Beberapa parameter tersebut adalah sudut kemiringan panel surya terhadap matahari (tipe Monocrystalline), dan penambahan reflektor / cermin (tipe Polycrystalline) serta posisi matahari yang optimal dengan menggunakan sudut azimuth.

2. KAJIAN PUSTAKA

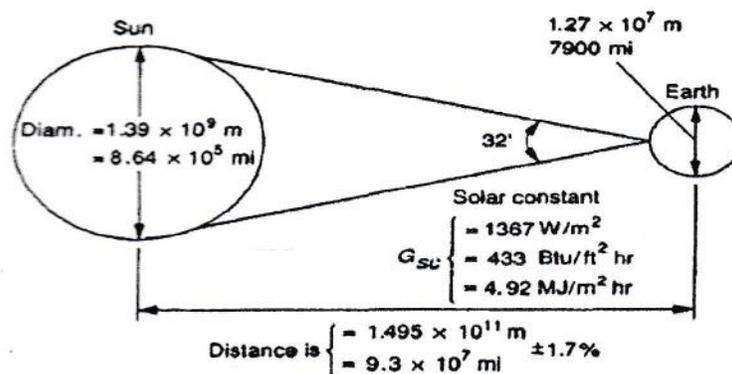
2.1 Energi Matahari

Matahari merupakan materi yang tersusun dari gas yang sangat panas dengan diameter $1,39 \times 10^9$ m, dan jarak $1,5 \times 10^{11}$ m dari bumi. Matahari memiliki suhu permukaan efektif 5777 K. Suhu di daerah inti matahari berkisar 8×10^6 sampai 40×10^6 dan densitasnya diperkirakan 100 kali lebih besar dari air. Matahari pada dasarnya adalah sebuah reaktor fusi kontinyu dengan gas penyusunnya tetap dipertahankan oleh gaya gravitasi. Energi yang dipancarkan oleh matahari berasal dari reaksi fusi. Energi diproduksi pada bagian dalam matahari dan terkirim ke permukaan dan kemudian teradiasi ke luar angkasa. [1]

Matahari merupakan sumber utama bagi kehidupan di bumi, sumber energi yang dihasilkan oleh matahari berupa energi panas dan energi cahaya yang dipergunakan makhluk hidup untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Bumi menerima 175×10^5 Watt radiasi surya pada atmosfer terluar. Kurang lebih 30 % dari total radiasi terefleksi kembali ke ruang angkasa, dimana 70% sisanya terserap oleh awan, lautan, dan juga daratan. [1]

2.2 Radiasi Yang Dipancarkan Matahari

Jarak eksentrisitas orbit bumi sedemikian rupa sehingga jarak antara matahari dan bumi bervariasi sebesar 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumi matahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m dengan sudut kecenderungan matahari 32'. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari - bumi di luar atmosfer. World Radiation Center (WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1%. [1]



Gambar 1. Hubungan Matahari dan Bumi

Intensitas radiasi matahari dari luar atmosfer bumi tergantung pada jarak antara matahari dan bumi. Dalam satu tahun bervariasi antara $1,47 \times 10^8$ Km dan $1,52 \times 10^8$ Km. Akibatnya, radiasi matahari berfluktuasi antara 1325 W/m^2 dan 1412 W/m^2 . Nilai rata-rata yang dirujuk sebagai konstanta surya adalah 1367 W/m^2 . Nilai radiasi tersebut tidak mencapai permukaan bumi. Atmosfer bumi mengurangi insolasi melalui refleksi, penyerapan (oleh ozon, uap air,

oksigen dan karbon dioksida) dan penyebaran (yang disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi). Pada cuaca yang baik pada siang hari, radiasi bisa mencapai 1000 W/m² di permukaan bumi. Insolasi maksimum terjadi pada hari sebagian berawan, pada hari cerah. Akibat dari radiasi matahari terpantul awan yang lewat, insolasipuncak sampai dengan 1400 W/m² untuk dalam waktu yang singkat. Jika kandungan energi dari radiasi matahari yang ditambahkan lebih dari satu tahun, ini memberikan radiasi global tahunan di kWh/m². [2]

Beberapa daerah di khatulistiwa mencapai nilai radiasi lebih dari 2300 kWh/m² per tahun, sedangkan Eropa Selatan menerima radiasi matahari tahunan maksimum 1700 kWh/m² dan Jerman mendapat rata-rata 1040 kWh/m²

2.3. Radiasi Matahari Pada Permukaan Bumi

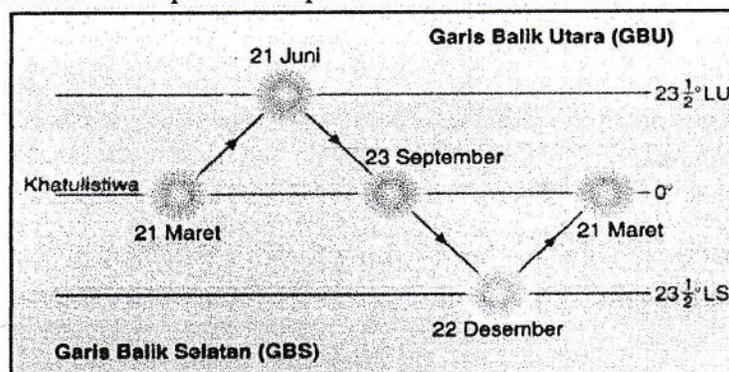
2.3.1 Pergerakan Bumi

Bumi berputar mengelilingi matahari pada lintasan yang sedikit elips dengan matahari. Bahkan, jarak yang memisahkan bumi dan matahari bervariasi $\pm 1,69\%$ karena adanya eksentrisitas orbit bumi. Sumbu rotasi bumi condong pada 23°27' dari bidang eliptikal bumi. Sudut yang dibentuk oleh sumbu bumi / matahari dengan bidang ekuator pada saat tertentu dalam setahun tahun disebut deklinasi. Dengan demikian, nilai deklinasi +23°27' pada musim panas, -23°27' pada musim dingin dan 0 pada ekuinoks. Deklinasi mempengaruhi musim, karena di belahan bumi utara sinar matahari bersinar dari sudut yang lebih tinggi di musim panas dan sudut yang lebih rendah ke cakrawala di musim dingin (sebaliknya justru terjadi di belahan bumi selatan). [3]

2.3.2. Pergerakan matahari.

2.3.2.1. Gerak semu matahari

Salah satu yang mempengaruhi banyaknya energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi adalah gerak semu harian dan tahunan matahari. Gerak semu harian matahari mempengaruhi pergantian siang dan malam sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap jamnya sedangkan gerak semu tahunan matahari mempengaruhi pergantian musim yang terjadi pada belahan bumi di dunia setiap tahun sehingga mempengaruhi besar intensitas radiasi matahari yang dapat diterima oleh bumi setiap bulan. Gerak semu tahunan matahari dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. Gerak Tahunan Matahari

2.3.2.2 Posisi matahari terhadap modul surya (photovoltaic)

Salah satu cara untuk mendapatkan radiasi matahari yang lebih banyak adalah dengan mengatur kedudukan panel surya. Kedudukan panel surya dapat diatur mengikuti posisi matahari dengan menentukan latitude, deklinasi, sudut jam matahari, sudut zenith, dan sudut azimuth matahari.

Posisi relatif matahari terhadap modul surya (*photovoltaic*) di bumi bisadijelaskan dalam beberapa sudut. Sudut-sudut itu adalah:

- o Latitude (garis lintang)

Adalah sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator (khatulistiwa), utara positif; $-90^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$

- o Kemiringan (β)

Adalah sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal.

- o Sudut permukaan *azimuth* (γ)

Adalah proyeksi kebidang horizontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif; $-180^{\circ} \leq \gamma \leq 180^{\circ}$.

- o Sudut jam matahari (ω)

Adalah sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.

$$\omega = (ts - 12) \times \frac{360}{24}, \quad ts = \text{waktu jam}$$

- o Sudut datang (θ)

Adalah sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertikal kolektor.

- o Sudut *zenith* (θ_z)

Adalah sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari. Sudut zenith dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\theta_z = \cos^{-1}(\cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \phi \times \sin \delta)$$

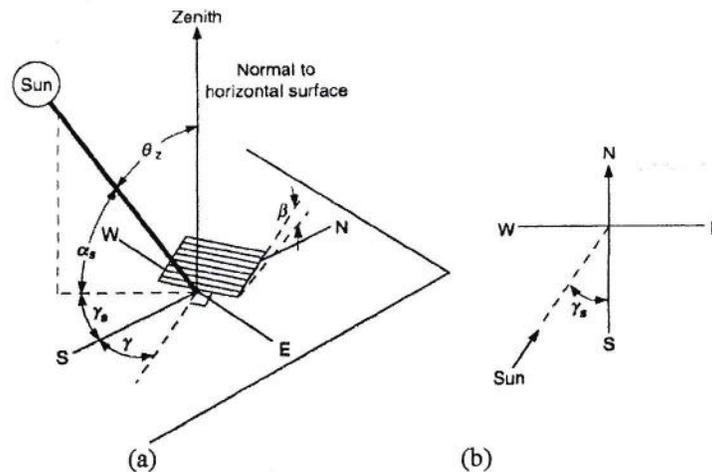
- o Sudut ketinggian matahari (α_s)

Adalah Sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang pada modul surya (*photovoltaic*).

- o Sudut azimuth matahari (γ_s)

Adalah sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif. Sudut azimuth matahari dapat dihitung dengan persamaan:

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \omega \times \cos \delta}{\sin \theta_z} \right)$$



Gambar 3. (a) Sudut zenith, kemiringan, sudut permukaan azimuth, dan sudut azimuth matahari. (b) sudut azimuth matahari dilihat dari atas.

o Deklinasi (δ)

Adalah sudut posisi matahari terhadap bidang khatulistiwa, utara positif; $-23,45^{\circ} < \delta < 23,45^{\circ}$.

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) n = \text{hari dalam bulan}$$

2.4 Sel Surya (Photovoltaic)

Kata *photovoltaic* terdiri dari dua kata yaitu *photo* dan *volta*. *Photo* yang berarti cahaya (dari bahasa Yunani yaitu phos, photos: cahaya) dan *Volta* (berasal dari nama seorang fisikawan Italia yang hidup antara tahun 1745-1827 yang bernama Alessandro Volta) yang berarti unit tegangan listrik. Jadi, pengertian *photovoltaic* yaitu proses konversi cahaya matahari secara langsung diubah menjadi listrik. Oleh karena itu, kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV. Nama lain untuk sel *photovoltaic* adalah *solar cell*, *solar panel*, *solar array*, dan *photovoltaic panel*. *Solar array* adalah kelompok dari *solar panel*, dan *solar panel* adalah kelompok dari *solar cell*. *Solar cell* merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek *photovoltaic* untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik tanpa penggunaan dari bagian-bagian mekanis yang bergerak dan tanpa penggunaan bahan bakar. *PV Module* atau *Solar cell* terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari *solar cell*. *Solar cell* pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Semikonduktor adalah suatu bahan yang mempunyai sifat konduktor dan isolator yang baik. Semikonduktor yang sering digunakan adalah silikon dan germanium. Silikon berperan sebagai isolator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Dapat diperkirakan kita tidak akan kekurangan silikon karena kira-kira 25% dari kerak bumi adalah silikon. Tiap *solar cell* biasanya menghasilkan tegangan 0,5 Volt. Pada *solar cell* terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (negatif). Semikonduktor jenis N dibuat dari kristal silikon dan terdapat juga sejumlah material lain (umumnya *phosfor*) dalam batasan bahwa material tersebut dapat memberikan suatu kelebihan elektron bebas[2]

Jumlah energi yang dihasilkan oleh panel surya bergantung kepada energi surya yang tersedia, yang pada khususnya bergantung pada arah modul surya terhadap matahari. Ketika *photovoltaic* mendapat masukan berupa intensitas cahaya matahari maka akan dapat

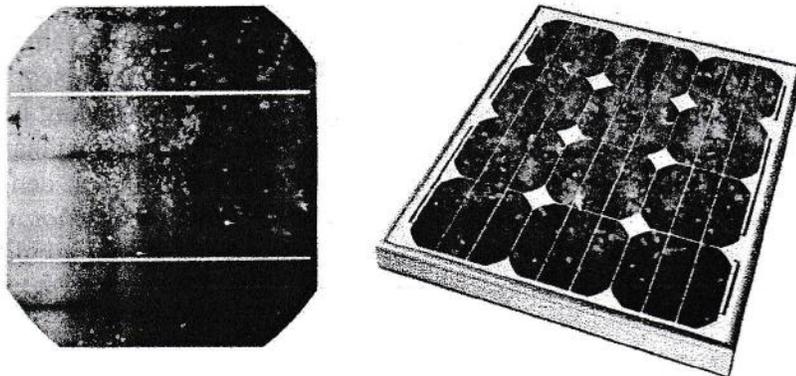
menghasilkan arus. Besar arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam sel surya. Besar intensitas cahaya matahari berubah sesuai dengan pergeseran posisi matahari dan pergeseran bumi. Seperti gerak semu harian matahari dan gerak semu harian bumi serta kondisi cuaca sangat besar pengaruhnya terhadap keluaran daya *photovoltaic*.

2.5 Jenis Jenis Solar Sel

Panel surya memiliki jenis yang berbeda tergantung pada bahan yang di pakai. Ada tiga jenis panel surya yang banyak beredar di pasaran untuk saat ini, bahan yang digunakan ini berpengaruh pada daya keluaran masing masing panel surya tersebut. Berikut ini jenis solar sel antara lain:

2.5.1 Monocrystalline

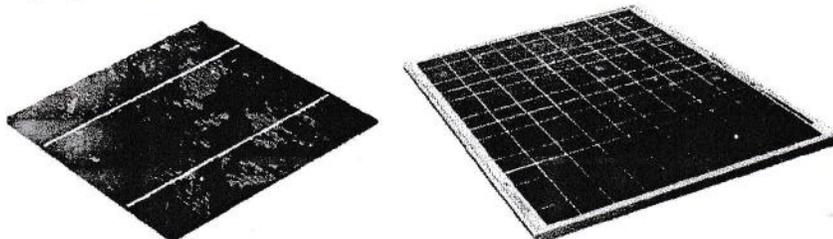
Solar Cell monocrystalline dibuat menggunakan *crystall silicon* murni yang sudah melalui proses pemurnian *silicon* yang hasilnya adalah *Ingot*. *Ingot* ini adalah sebuah material dalam hal ini adalah potongan *crystal silicon* yang sudah melalui proses *czochralski*. Irisan *ingot* inilah yang menyebabkan jenis solar cell monocrystalline berbentuk bundar/lingkaran, bentuk tersebut merupakan hasil dari proses *chochralski*. Kemudian ada juga yang dipotong dibagian tepinya sehingga berbentuk segi delapan, lebih tepatnya segi empat dengan irisan di keempat sudutnya. Ciri - ciri fisik jenis solar cell monocrystalline *Silicon* dapat dibedakan dengan mudah. Selain bentuknya yang segidelapan, warna monocrystalline *silicon* juga lebih gelap.



Gambar 4. Monocrystalline

2.5.2 Polycrystalline

Solar Cell polycrystalline *silicon* juga dikenal sebagai *polysilicon (p-Si)* dan *multi-kristal silikon (mc-Si)*, dan diperkenalkan ke pasar pada tahun 1981. Tidak seperti panel surya berbasis monocrystalline, polycrystalline tidak memerlukan proses *czochralski*.



Gambar 5. Polycrystalline

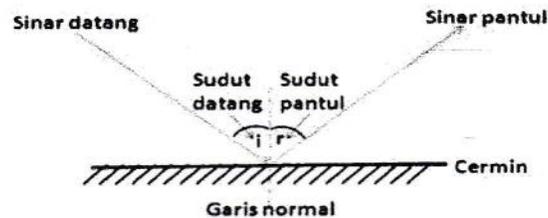
Jenis Solar cell polycrystalline dihasilkan dari proses metalurgi grade silicon dengan pemurnian kimia. Silikon baku dicairkan dan dituangkan ke dalam cetakan persegi, yang didinginkan dan dipotong menjadi bentuk yang diinginkan. Ciri fisik yang mudah dikenali jenis polycrystalline adalah warna yang kebiruan, bentuknya biasa kotak atau persegi dengan pola-pola guratan kebiruan. Bila disusun pada solar panel terlihat lebih rapat.

2.6 Pemantulan Cahaya pada Cermin Datar

Cermin datar adalah cermin yang sangat halus dan memiliki permukaan yang datar. Biasanya terbuat dari kaca, dibagian belakang dilapisi logam mengkilap sehingga tidak tembus cahaya [7]. Cahaya yang datang pada cermin akan dipantulkan, sesuai dengan hukum sinellius yaitu :

- Sinar datang, garis normal dan sinar pantul terletak pada suatu bidang datar.
- Besar sudut datang (i) sama dengan besar sudut pantul (r).

$$i = r$$



Gambar 6 Diagram Pemantulan Cahaya

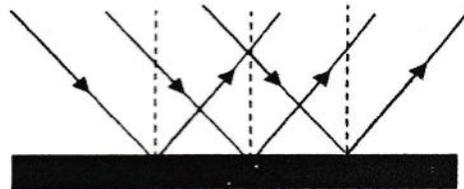
Ada pun ciri bayangan pada cermin datar adalah sebagai berikut :

- Jarak bayangan pada cermin sama dengan jarak benda pada cermin,
- Bayangan bersifat maya,
- Ukuran bayangan yang terbentuk sama dengan ukuran benda,
- Bayangan bersifat simetris (berlawanan) dengan benda

Berdasarkan bidang pantulnya pemantulan cahaya dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Pemantulan teratur.

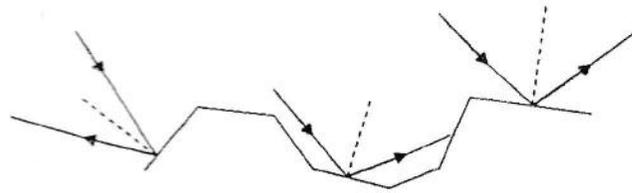
Apabila berkas cahaya mengenai suatu permukaan teratur, halus, mengkilat atau licin, sehingga cahaya di pantulkan ke arah tertentu dengan teratur.



Gambar 7. Pemantulan teratur

2. Pemantulan baur

Apabila berkas cahaya mengenai suatu permukaan kasar dan tidak teratur maka berkas cahaya akan dipantulkan ke segala arah.



Gambar 8 Pantulan baur

Pada umumnya cermin datar digunakan untuk bercermin karena bayangan yang di bentuk sama dengan benda aslinya. Jadi pada penelitian ini cermin datar ini digunakan sebagai reflektor yang bertujuan untuk memantulkan cahaya ke panel surya supaya intensitas radiasi cahaya matahari yang di terima panel semakin besar dan dapat menambah keluaran daya panel tersebut.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Monocrystalline

Untuk mengetahui sudut kemiringan panel surya yang optimal maka perlu dilakukan Penelitian. Penelitian ini dilakukan di gedung Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.

- Panel surya
Denganspesifikasi :
 - Merek : Royal PV
 - TipeModul: RPV-100-M10 (Mono dan Poly)
 - Pm (W) : 100 W
 - JumlahSel : 36
 - DimensiSel (mm) : 125
 - Vm (V) : 18.5 V
 - IM (A) : 5.4 A
 - Voc (V) : 22.5 V
 - Isc (A) : 5.9 A

Penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Penelitian sudut kemiringan panel surya sejajar dengan bidang horizontal (tanpa Sudut kemiringan)
 - Mempersiapkan rangkaian panel surya
 - Mengatur sudut kemiringan panel suryasebesar 0° sejajar dengan bidang horizontal tanah.
 - Penelitian dilakukan mulai pukul 09.00 – 16.00 WIB
 - Mengukur tegangan (V_{∞}) panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya
 - Mengukur arus (I_{sc}) panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya
 - Mengukur radiasi matahari dengan menggunakan pyranometer
2. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya dengan arah panel surya mengacu kearah utara bumi.
 - Menentukan arah utara bumi menggunakan kompas
 - Panel surya dibuat menghadap ke arah utara bumi.

- Penelitian dilakukan pada pukul 09.00 – 16.00 WIB
 - Sudut kemiringan panel surya dibuat 10° , 20° , 30° , 40° dan 50° dengan menggunakan busur derajat.
 - Mengukur tegangan (V_{oc}) panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya
 - Mengukur arus (I_{sc}) panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya
3. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya dengan arah panel surya mengacu ke titik azimuth matahari.
- Menentukan titik azimuth matahari.
Langkah-langkah untuk menentukan titik azimuth matahari
 - Mencari latitude lokasi pengujian
 - Mencari n hari pengujian dalam satu tahun
 - Menghitung deklinasi matahari (δ) dengan persamaan

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) n = \text{hari dalam bulan}$$
 - Menghitung sudut jam matahari dengan persamaan

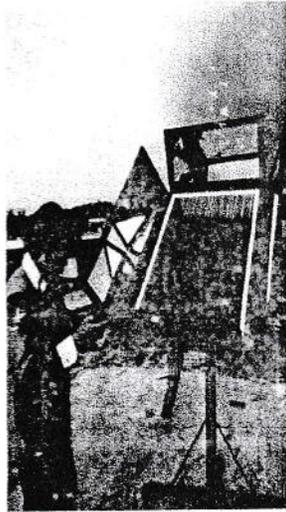
$$\omega = (ts - 12) \times \frac{360}{24}, \quad ts = \text{waktu jam ;}$$
 - Menghitung sudut zenith matahari (θ_z) dengan persamaan

$$\theta_z = \cos^{-1} (\cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega + \sin \phi \times \sin \delta)$$
 - Menghitung titik azimuth matahari (γ_s) dengan persamaan

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \omega \times \cos \delta}{\sin \theta_z} \right)$$
 - Penelitian dilakukan pada pukul 09.00 – 16.00 WIB
 - Panel surya diarahkan ke matahari dengan cara memutar sumbu azimuth tiang penyangga mengarah titik azimuth matahari. Arah panel surya ditentukan dengan menggunakan kompas.
 - Kemiringan panel surya diatur dengan menggunakan busur derajat sesuai dengan sudut kemiringan yang diuji 10° , 20° , 30° , 40° , dan 50°
 - Mengukur tegangan (V_{oc}) panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya.
 - Mengukur arus (I_{sc}) panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya.
 - Mengukur radiasi matahari dengan menggunakan pyranometer.

3.2 Polycrystalline

Untuk mengetahui sudut kemiringan reflektor paling optimal terhadap posisi panel surya maka perlu dilakukan penelitian juga. Penelitian juga dilakukan di tempat yang sama. Seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Melakukan Penelitian Polycrystalline

Penelitian yang dilakukan yaitu:

1. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya tanpa menggunakan reflektor.
 - Mencari utara selatan bumi dengan menggunakan kompas.
 - Meletakkan panel pada posisi utara selatan panel dengan menggerakkan sumbu putar tiang penyangga.
 - Penelitian dilakukan pada pukul 09.00 – 15.00 dengan panel surya mengarah ke utara selatan bumi.
 - Panel surya dibuat pada kemiringan 0° , 10° , 20° , 30° dan 40° terhadap bidang horizontal dengan menggunakan busur derajat.
 - Mengukur Voc dengan menghubungkan multimeter pada terminal output panel surya.
 - Mengukur Isc dengan menghubungkan multimeter pada terminal output panel surya.
 - Mengukur intensitas radiasi matahari dengan menggunakan pyranometer.
 - Langkah 4 sampai 6 dilakukan kembali untuk sudut 10° , 20° , 30° dan 40°
 - Menentukan kemiringan paling optimal untuk setiap jamnya.
2. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya dengan penambahan reflektor pada kemiringan panel yang optimal.
 - Menentukan titik utara selatan bumi dengan menggunakan kompas.
 - Panel surya diarahkan ke utara selatan bumi dengan cara memutar sumbu putar tiang penyangga.
 - Panel surya dibuat pada kemiringan optimal sesuai dengan hasil yang didapat pada percobaan 1.
 - Penelitian dilakukan untuk setiap jam, mulai jam 09.00 – 15.00
 - Menambahkan reflektor di empat sisi panel surya pada sudut 50° , 60° dan 70° terhadap panel dengan menggunakan busur.

- Mencatat tegangan Voc panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya.
- Mencatat arus Isc panel surya dengan cara menghubungkan multimeter ke terminal keluaran panel surya.
- Mengukur radiasi matahari dengan menggunakan pyranometer.

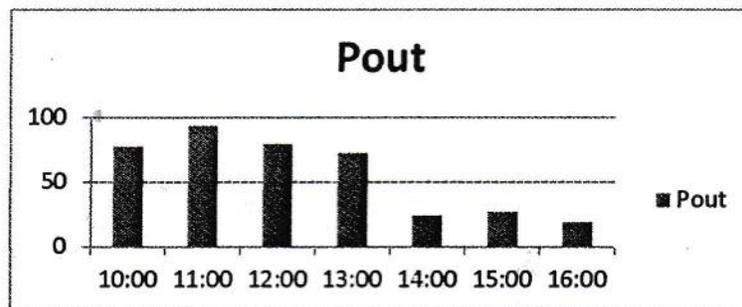
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Monocrystalline

Hasil Penelitian yang dilakukan yaitu :

1. Penelitian sudut kemiringan panel surya sejajar dengan bidang horizontal (tanpa Sudut kemiringan)

Hasil penelitian yang di peroleh menunjukkan bahwasannya jam 11.00 WIB merupakan waktu yang tepat untuk mendapatkan daya ouput yang optimal yaitu sebesar 94, 17 watt dan jam 16.00 WIB memberikan hasil yang terkecil yaitu 19.73 W, seperti pada Gambar 10.



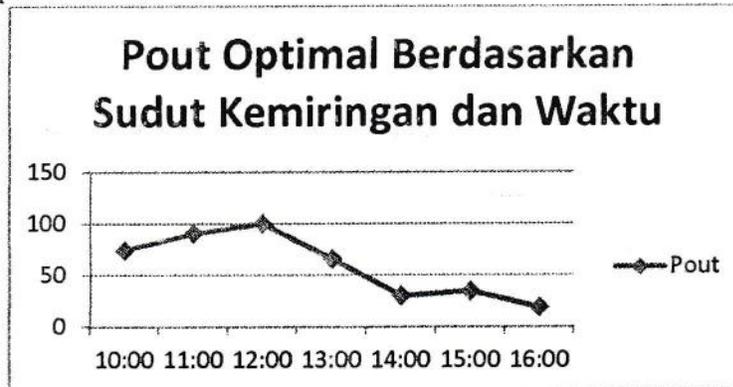
Gambar 10. Hasil Daya Output Tanpa Sudut Kemiringan (Monocrystalline)

2. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya dengan arah panel surya mengacu kearah utara bumi.

a. Sudut kemiringan Solar cell (monocrystalline) menghasilkan daya output optimal pada jam :

- 10.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 74.71 Watt.
- 11.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 90.44 Watt
- 12.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 100.00 Watt
- 13.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 66.11 Watt
- 14.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 20° dengan daya ouput sebesar 30.42 Watt
- 15.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 20° dengan daya ouput sebesar 34.73 Watt
- 16.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 20° dengan daya ouput sebesar 18.86 Watt

Seperti pada Gambar 11.

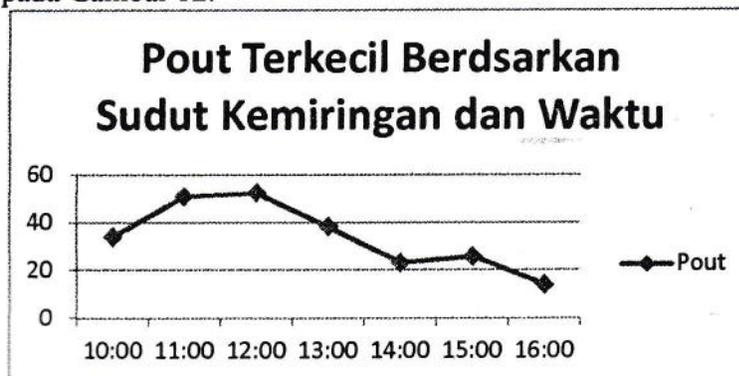


Gambar 11. Hasil Daya Output Optimal dengan Sudut Kemiringan (Monocrystalline)

b. Sudut kemiringan Solar cell menghasilkan daya output terkecil (monocrystalline) pada jam :

- 10.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 34.08 Watt.
- 11.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 50.99 Watt
- 12.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 52.45 Watt
- 13.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 38.38 Watt
- 14.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 23.24 Watt
- 15.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 25.78 Watt
- 16.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 14.08 Watt

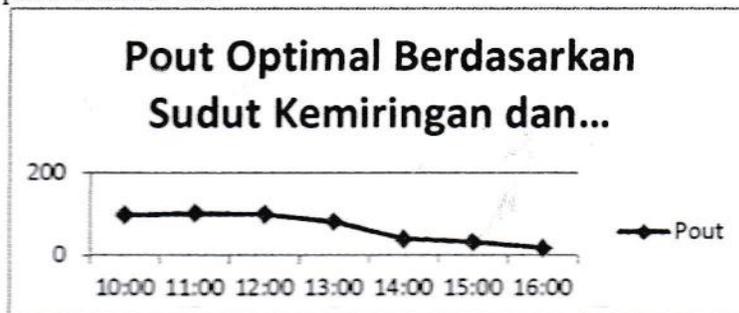
Seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Daya Output Terkecil Berdasarkan Sudut Kemiringan dan Waktu (Monocrystalline)

3. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya dengan arah panel surya mengacu ke titik azimuth matahari.
- a. Sudut kemiringan Solar cell (monocrystalline) menghasilkan daya output optimal (Azimuth) pada jam :
- 10.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 30° dengan daya ouput sebesar 98.76 Watt.
 - 11.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 20° dengan daya ouput sebesar 100.00 Watt
 - 12.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 100.00 Watt
 - 13.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 82.13 Watt
 - 14.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 40.81 Watt
 - 15.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 20° dengan daya ouput sebesar 33.51 Watt
 - 16.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 20° dengan daya ouput sebesar 18.76 Watt

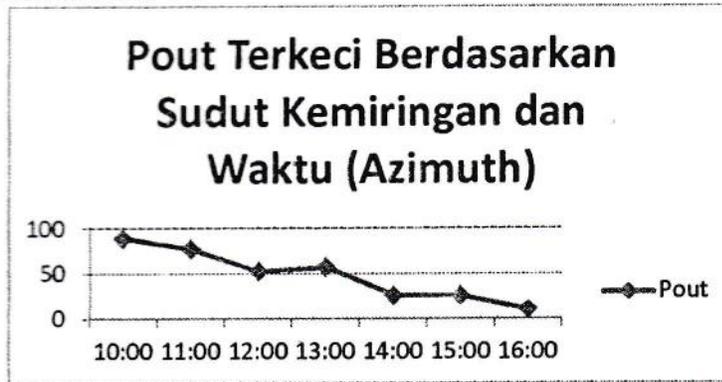
Seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Daya Output Optimal Berdasarkan Sudut Kemiringan dan Waktu (Azimuth)

- b. Sudut kemiringan Solar cell (monocrystalline) menghasilkan daya output terkecil (Azimuth) pada jam :
- 10.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 10° dengan daya ouput sebesar 89.63 Watt.
 - 11.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 77.83 Watt
 - 12.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 52.79 Watt
 - 13.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 57.90 Watt
 - 14.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 26.43 Watt
 - 15.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 26.21 Watt

- 16.00 WIB, posisi kemiringan solar cell 60° dengan daya ouput sebesar 11.03 Watt
Seperti pada Gambar 14.

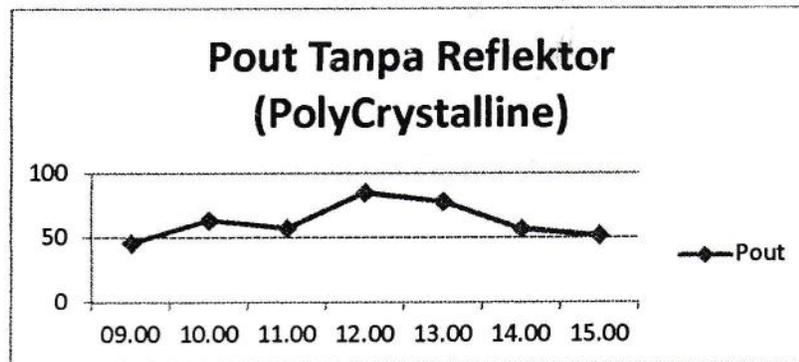


Gambar 14. Hasil Daya Output Terkecil Berdasarkan Sudut Kemiringan dan Waktu (Azimuth)

4.2 Polycrystalline

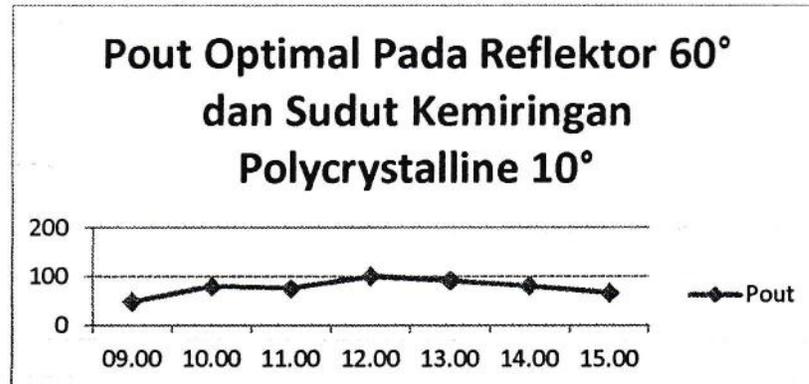
Hasil Penelitian yang dilakukan yaitu :

1. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya tanpa menggunakan reflektor
Hasil penelitian yang di peroleh menunjukkan bahwasannya jam 12.00 WIB merupakan waktu yang tepat untuk mendapatkan daya ouput yang optimal yaitu sebesar 84, 91 watt dan jam 09.00 WIB memberikan hasil yang terkecil yaitu 45.57 Watt, dengan sudut kemiringan optimal Solar cell sebesar 10° , seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil Daya Output Tanpa Reflektor (Polycrystalline)

2. Penelitian pengaruh sudut kemiringan panel surya dengan penambahan reflektor pada kemiringan panel yang optimal.
Hasil penelitian yang di peroleh menunjukkan bahwasannya sudut reflector optimal berada pada sudut 60° . Jam 12.00 WIB merupakan waktu yang tepat untuk mendapatkan daya ouput yang optimal yaitu sebesar 100 watt dan jam 09.00 WIB memberikan hasil yang terkecil yaitu 49.73 Watt, dengan sudut kemiringan optimal Solar cell sebesar 10° , seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Hasil Daya Output Optimal dengan sudut reflektor 60° dan sudut kemiringan Polycrystalline 10°

5. KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian maka didapat sudut kemiringan solar cell (Monocrystalline dan Polycrystalline) yang optimal berada pada sudut kemiringan 10° dan peletakkan solar cell yang optimal berdasarkan sudut azimuth.
2. Arus hubung singkat (Isc) meningkat secara signifikan sejalan dengan meningkatnya radiasi matahari yang ditangkap oleh panel surya sementara tegangan angkaian terbuka (Voc) hanya mengalami kenaikan yang sedikit.
3. Penggunaan reflektor pada Polycrystalline sangat berpengaruh untuk mendapatkan daya output yang maksimal, sudut reklektor yang terbaik berada pada sudut 60°.
4. Hasil daya output yang terbesar untuk tipe Monocrystalline dan Polycrystalline berada pada jam 12.00.

Daftar Pustaka

- A. Shah, P. Torres, R. Tschamer, N. Wyrsh, H. Keppner, *Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells*, Institute of Microtechnology (IMT), University of Neuchâtel.
- Contained Energy Indonesia tim, *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*, PNPM Mandiri Kemendagri Indonesia.
- Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th, Jon Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2006
- Jansen, Ted. J, *Solar Engineering Technology*, Prentice – Hall, Inc, Engelwood Cliffs, New Jersey, 1995.
- Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installer, architects and engineers*. London, Sterling, VA : Earthscan, 2005.