

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 State Of The Art

State of the art adalah pernyataan yang menunjukkan bahwa penyelesaian masalah yang diajukan merupakan hal yang berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain. Dalam bagian ini akan diuraikan secara singkat penelitian sebelumnya yang dapat memperkuat alasan mengapa penelitian ini akan dilakukan. Adapun daftar Referensi penelitian ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1 Daftar Referensi**

JUDUL	PENELITI	TAHUN	DESKRIPSI
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Tanaman Hidroponik	David Setiawan, Hamza Eteruddin, Latifa Siswati	2020	<p>Penelitian yang dilakukan berfokus pada tanaman Hidroponik terhadap sumber listrik PLTS. Pada penelitian ini para peneliti melakukan analisa perbandingan terhadap 4 desain yaitu</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistem Panel Surya tanpa Baterai</li> <li>2. Sistem Panel Surya menggunakan Baterai</li> <li>3. Sistem Panel Surya mnggunakan PMT</li> <li>4. Sistem Panel Surya menggunakan Inverter DC ke AC</li> </ol> <p>Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa desain pada Sistem Panel Surya menggunakan Baterai lebih baik dari pada Sistem Panel Surya tanpa Baterai dimana pompa air lebih stabil dan dapat bekerja hingga malam hari.</p>
Pemanfaatan PLTS sebagai Sumber Energi Akuaponik di Desa Leuwi Karet, Kampung Guha Kulon, Klapa Nunggal Kabupten Bogor	Dezetty Monika, Muchlishah, Murie Dwiyaniti	2022	<p>Penelitian yang dilakukan berfokus pada pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi Akuaponik di daratan tinggi, berkapur dan banyak batu-batu cadas. Sistem akuaponik yang dilaksanakan merupakan gabungan dari sistem hidroponik dan akuakultur. Walaupun hidroponik menggunakan teknik bercocok tanam dengan media air, air yag digunakan tida sebanyak saat menanam menggunakan media tanah.</p> <p>Hasil dari penelitian ini sangat cocok dalam mengatasi masalah warga yang sulit memenuhi kebutuhan air bersih saat musim kemarau</p>

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.1 penelitian di ranah energi baru dan terbarukan adalah Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Energi Listrik yang dilakukan oleh David Setiawan, Hamza Eteruddin, Latifa Siswati yang di publikasikan dalam paper yang berjudul Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Tanaman Hidroponik pada tahun 2020. Pada penelitian tersebut, David Setiawan, Hamza Eteruddin, Latifa Siswati melakukan pengujian dan menganalisis desain yang dibuat yaitu Sistem Panel Surya tanpa Baterai, Sistem Panel Surya menggunakan Baterai, Sistem Panel Surya menggunakan PMT, Sistem Panel Surya menggunakan Inverter DC ke AC. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa desain pada Sistem Panel Surya menggunakan Baterai lebih baik dari pada Sistem Panel Surya tanpa Baterai dimana pompa air lebih stabil dan dapat bekerja hingga malam hari.

Sedangkan pada paper yang ditulis oleh Dezetty Monika, Muchlishah, Murie Dwiyaniti tahun 2022 berjudul Pemanfaatan PLTS sebagai Sumber Energi Akuaponik di Desa Leuwi Karet, Kampung Guha Kulon, Klapa Nunggal Kabupten Bogor. Dalam paper tersebut para peneliti melakukan penelitian yang berfokus pada pemanfaatan PLTS sebagai sumber energi Akuaponik di daratan tinggi, berkapur dan banyak batu-batu cadas. Sistem akuaponik yang dilaksanakan merupakan gabungan dari sistem hidroponik dan akuakultur. Walaupun hidroponik menggunakan teknik bercocok tanam dengan media air, air yang digunakan tidak sebanyak saat menanam menggunakan media tanah. Hasil dari penelitian ini sangat cocok dalam mengatasi masalah warga yang sulit memenuhi kebutuhan air bersih saat musim kemarau.

## **2.2 Kajian Teori**

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah suatu pembangkit yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (*photovoltaic*) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan, oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik. [2]

Salah satu sistem pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik tenaga surya off - grid. Suatu pembangkit listrik tenaga surya yang dikelola secara komunal atau yang sering disebut pembangkit listrik tenaga surya berdiri sendiri (*stand-alone*), beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Sistem pembangkit listrik tenaga surya ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan disiang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari. [2]

*Stand-alone PV system* atau Sistem PLTS Terpusat merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN.

### **2.3 Prinsip Kerja PLTS Off Grid**

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga surya off - grid adalah beroperasi secara independen memanfaatkan seluruh komponen PLTS tanpa terhubung dengan jaringan listrik PLN, sehingga seluruh pasokan energi disediakan oleh sistem PLTS dari pagi sampai malam. Untuk bisa bertahan selama 24 jam, pembangkit listrik tenaga surya off - grid menggunakan baterai untuk menyimpan listrik yang diproduksi saat siang. Keberadaan baterai memungkinkan pembangkit listrik tenaga surya menyuplai listrik saat malam hari. [3]

Pada PLTS *off - grid* sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller* agar tidak terjadi *over charge*.

### **2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

Sistem pembangkit listrik tenaga surya on-grid dan system pembangkit listrik tenaga surya off-grid memiliki perbedaan. Dapat dilihat pada tabel 2.2

**Tabel 2. 2 Perbedaan PLTS On-Grid dan PLTS Off-Grid**

	PLTS On-grid	PLTS Off-grid
Gambaran Sistem	Sistem PLTS terhubung dengan jaringan listrik PLN	Sistem PLTS tidak terhubung dengan jaringan PLN
Saat PLTS tidak menghasilkan energi listrik (malam hari)	beban listrik dipasok oleh jaringan listrik PLN	Beban listrik harus dipasok oleh baterai atau pembangkit lainnya (diesel/PLTD)
Kebutuhan baterai	Baterai merupakan komponen pilihan (disesuaikan oleh kebutuhan)	Baterai merupakan komponen yang wajib dipasang
Kapasitas PLTS	Kapasitas pembangkit tidak harus menyesuaikan kebutuhan beban, karena apabila terdapat kekurangan energi listrik, jaringan listrik akan membantu mensuplai beban.	Kapasitas pembangkit harus mencukupi kebutuhan beban siang dan malam
Penambahan beban listrik di masa depan	Penambahan beban listrik tidak akan berpengaruh terhadap sistem	Penambahan beban listrik mempengaruhi sistem PLTS off-grid. Apabila beban listrik melebihi kapasitas PLTS, harus ada pengurangan atau pemutusan beban.

Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS diklasifikasi menjadi dua yaitu. Sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV plant*), atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan (*grid-connected PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *On-grid*. Sedangkan apabila PLTS dalam penggunaannya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem *hybrid*. [4]

#### **2.4.1 PLTS Terpusat (Off-Grid)**

Suatu PLTS *off-grid* yang dikelola secara komunal atau yang sering disebut sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. [5] Sistem PLTS *off-grid* ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari.

*Stand-alone PV system* atau sistem pembangkit listrik tenaga surya terpusat

merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN.

#### **2.4.1.1 Prinsip Kerja PLTS (Off-Grid)**

Prinsip kerja PLTS *off-grid* dapat diuraikan sebagai berikut :

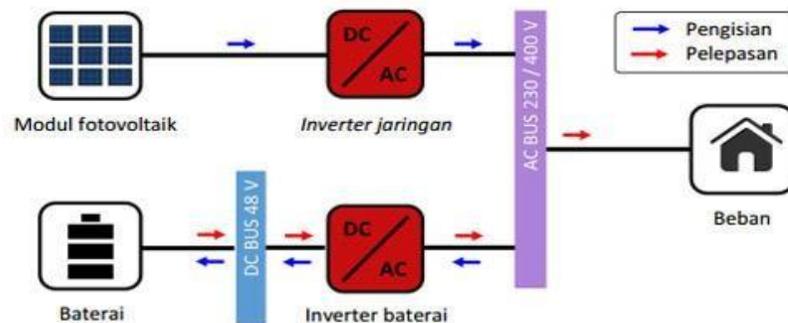
- a. Pada PLTS sistem terpusat ini, sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller* agar tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi *cell*. Intensitas matahari maksimum mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$ , dengan efisiensi *cell* 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar  $140 \text{ W/m}^2$ .
- b. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban. [6]

#### **2.4.1.2 Konfigurasi PLTS (Off-Grid)**

Konfigurasi kerja yang umum diimplementasikan dalam PLTS ada 2 sistem yaitu berbasis DC coupling dan AC coupling. Istilah coupling berdasarkan hubungan titik ke titik koneksinya. Umumnya, sistem PLTS terdiri dari dua bagan kelistrikan yang berbeda yaitu sisi arus bolak-balik disingkat a.b.b. (arus AC) dan sisi arus searah disingkat a.s. (arus DC). Ketika sistem PLTS menerapkan penggunaan fungsi cadangan baterai, ada dua titik koneksi yang dapat dibuat dari keluaran array modul surya. Array dapat terkoneksi ke sisi AC atau sisi DC dari sistem kelistrikan PLTS. [7] Dapat dilihat pada gambar 2.1.



## Bagaimana konfigurasi sistem AC-coupling?



**Gambar 2. 1** Konfigurasi AC-Coupling  
Sumber : <https://www.builder.id/plts-off-grid-sistem/>

Komponen utama yang membedakan sistem AC-coupling dengan DC-coupling adalah inverter jaringan. Dalam konfigurasi AC-coupling, modul fotovoltaik dan baterai dihubungkan di bus AC melalui inverter jaringan dan inverter baterai. [8]

Modul fotovoltaik terhubung ke inverter jaringan dimana tegangan diubah dari DC ke AC. Serupa dengan charge controller, inverter jaringan juga dilengkapi dengan perangkat MPPT untuk mengoptimalkan penangkapan energi. Daya dari rangkaian modul fotovoltaik dapat langsung digunakan oleh beban di siang hari dan kelebihannya digunakan untuk mengisi baterai melalui inverter baterai pada saat yang sama. [8]

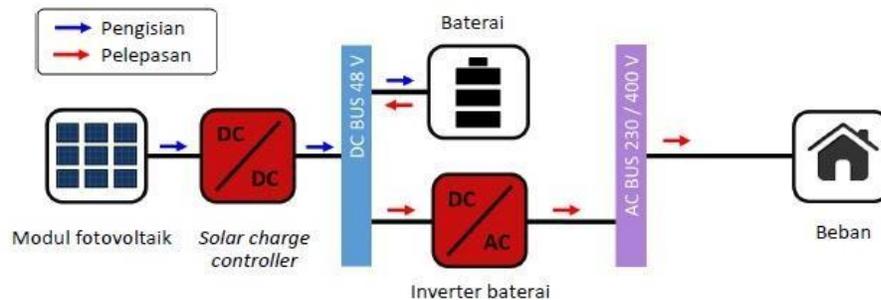
Berbeda dengan sistem DC-coupling, inverter baterai dalam sistem AC-coupling bekerja secara dua arah (bidirectional). Alat ini berfungsi sebagai pengatur pengisian baterai (charger) ketika radiasi sinar matahari cukup, beban terpenuhi, dan baterai belum terisi penuh (SoC rendah). Ketika beban melampaui jumlah daya masukan modul fotovoltaik, biasanya pada malam hari atau saat hari sedang berawan, maka inverter baterai akan beralih menjadi inverter mengubah arus DC-AC sehingga energi dari baterai dapat digunakan untuk memenuhi permintaan beban. [8]

Sistem konversi di sistem AC-coupling bekerja dalam dua cara. Hal ini menyebabkan rugi-rugi konversi yang lebih besar dibandingkan sistem DC-coupling. Namun demikian, sistem AC-coupling lebih menguntungkan jika kemungkinan

beban pada siang hari lebih besar karena dalam hal ini kerugian konversi hanya akan terjadi di inverter jaringan. Disisi lain, konfigurasi AC memberi lebih banyak fleksibilitas untuk dengan mudah diperluas dengan tambahan rangkaian modul fotovoltaik atau dijalankan secara hibrida bersama dengan pembangkit listrik lainnya. [8]

Mirip dengan sistem DC-coupling, inverter baterai harus bekerja secara paralel untuk mencapai keluaran daya yang lebih besar. Karena inverter baterai adalah “otak” pembentukan jaringan distribusi di dalam PLTS off-grid, harus ada setidaknya satu inverter yang bertindak sebagai “master” yang menyediakan referensi tegangan dan frekuensi, sementara inverter baterai sisanya bertindak sebagai “slave” yang bergabung di dalam jaringan. [8]

 **Bagaimana konfigurasi sistem DC-coupling?**



**Gambar 2. 2 Konfigurasi DC**

Sumber : <https://www.builder.id/plts-off-grid-sistem/>

Secara singkat, DC adalah singkatan untuk direct current (arus searah), sementara AC adalah singkatan untuk alternating current (arus bolak-balik). Penyambungan (coupling) mengacu pada titik penyambungan di dalam sistem. [8]

Sistem DC-coupling menghubungkan rangkaian modul fotovoltaik ke sisi DC sistem PLTS melalui solar charge controller. Sementara itu, sistem AC-coupling menghubungkan rangkaian modul surya dan baterai ke sisi AC melalui inverter jaringan dan inverter baterai. Jika ada kelebihan daya yang tidak digunakan

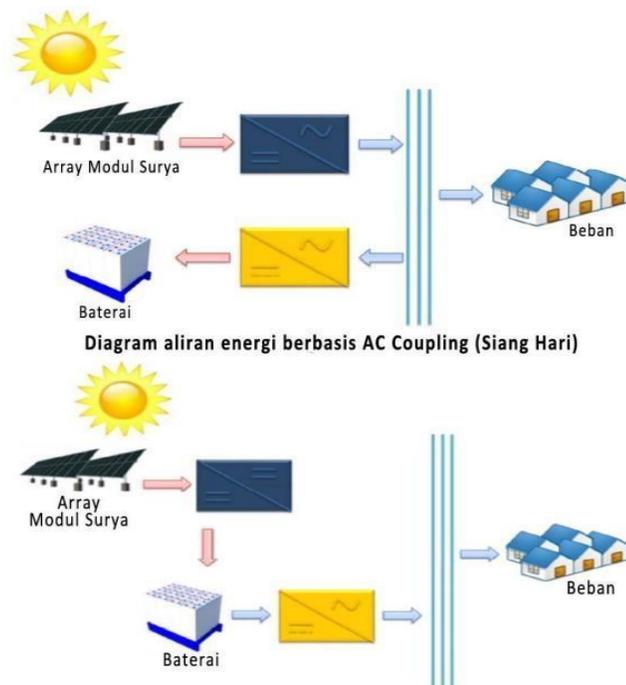
oleh beban, maka kelebihan daya akan dikonversi kembali ke DC oleh *inverter* baterai dan energi akan disimpan dalam baterai. [8]

### 2.4.1.3 Pola Operasi PLTS [9]

Terdapat 3 pola operasi yang umum pada PLTS yaitu :

#### a. Pada siang hari saat energi PLTS lebih besar dari kebutuhan beban.

Besar energi yang dihasilkan PLTS sangat tergantung kepada *intensitas* penyinaran matahari yang diterima oleh modul surya dan efisiensinya. *Intensitas* matahari maksimal mencapai  $1000 \text{ Watt/m}^2$ , apabila *efisiensi* modul surya sebesar 14% maka daya ideal yang dapat dihasilkan oleh modul surya adalah sebesar  $140 \text{ Watt/m}^2$ . Diagram aliran energi yang dihasilkan pada siang hari dapat dilihat pada Gambar 2.3



**Gambar 2. 3 Diagram Aliran Energi yang dihasilkan pada siang hari**

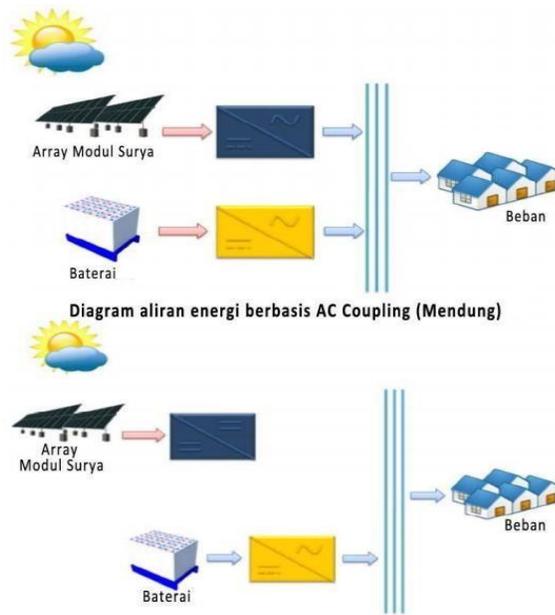
Pada sistem *DC Coupling*, energi yang dihasilkan modul surya pada kondisi tersebut digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC) terlebih dahulu, baru kemudian disalurkan ke beban (konsumen).

**b. Pada Siang Hari Saat Energi PLTS lebih kecil dari kebutuhan beban**

Kondisi ini dapat terjadi apabila :

- Saat kondisi berawan atau mendung
- Saat sore hari menjelang matahari terbenam PLTS akan menghasilkan energi listrik dari matahari namun tidak maksimal.

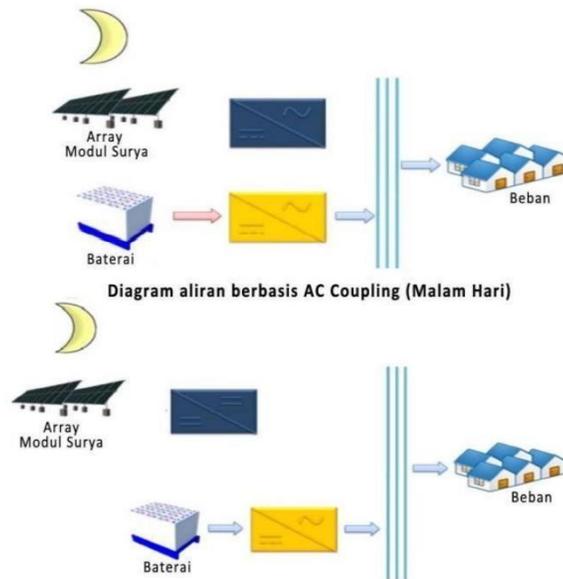
Diagram aliran energi yang dihasilkan pada kondisi berawan/mendung dapat dilihat gambar 2.4



**Gambar 2. 4 Diagram Aliran Energi yang dihasilkan pada Kondisi Berawan/Mendung**

**c. Malam hari**

Pada malam hari sumber energi matahari tidak dapat dimanfaatkan lagi, oleh karena itu beban akan disuplai oleh baterai. Energi yang tersimpan dalam baterai pada siang hari akan dipergunakan untuk menyuplai beban saat dibutuhkan. Diagram aliran energi pada malam hari dapat dilihat pada **Gambar 2.5**



**Gambar 2. 5 Diagram Aliran Energi pada Malam Hari**

## 2.5 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari beberapa komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya yaitu:

### 2.5.1 Modul Panel Surya

*Solar cell* atau sel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. *Photovoltaic* biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen *semikonduktor* yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*. [10]

Unjuk kerja sel surya dalam mengkonversikan energi foton dari sinar matahari menjadi energi listrik tidak terlepas dari teknologi yang digunakan oleh sel surya itu sendiri. Teknologi yang dimaksudkan seperti jenis material yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan sel surya, maupun proses/teknologi pembuatannya. Bahan

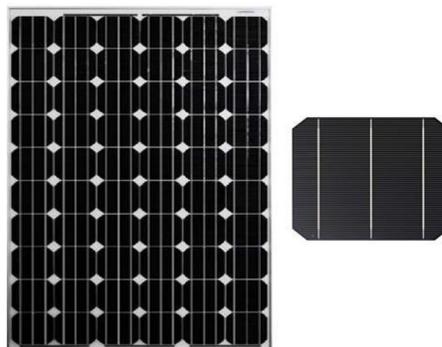
*semikonduktor* jenis silikon merupakan bahan yang paling umum digunakan dalam pembuatan sel surya, meskipun saat ini digunakan juga jenis bahan seperti *cadmium telluride* dan *copper indium (gallium) di-selenide*. Setiap bahan memiliki karakteristik yang unik dan memiliki pengaruh kuat terhadap performa sel surya, metode pabrikasi, dan dari segi biaya.

Sel surya salah satunya terbuat dari teknologi irisan silikon (*silikon wafers*), pembuatannya dengan cara memotong/mengiris tipis silikon dari balok batang silikon. Sel surya juga bisa terbuat dari teknologi film tipis biasa disebut *thin film technologies*, dimana lapisan tipis dari bahan semikonduktor diendapkan pada *low-cost substrates*. Sel surya selanjutnya digolongkan sesuai dengan batasan struktur dari bahan semikonduktornya seperti, *mono-crystalline*, *multicrystalline (poly-crystalline)* atau *amorphous material* [10]

Panel surya adalah rangkaian beberapa modul surya yang disusun dalam sebuah struktur kerangka, panel surya terdiri atas tiga modul surya dalam satu bingkai. Adapun jenis - jenis panel surya yaitu :

#### 1. *Monocrystalline*

Jenis panel surya *monocrystalline* dapat dilihat pada gambar 2.6



**Gambar 2. 6 *Monocrystalline***

Sel *monocrystalline* biasanya terbuat dari batang silikon tunggal berbentuk silinder, yang kemudian diiris tipis menjadi bentuk wafers dengan ketebalan sekitar 200-250  $\mu\text{m}$ , dan pada permukaan atasnya dibuat alur-alur mikro (*microgrooves*) yang bertujuan untuk meminimalkan rugi- rugi refleksi atau pantulan. Keunggulan

utama dari jenis ini yaitu efisiensinya yang lebih baik (14-17%), serta lebih tahan lama (efektif hingga 20 tahun lebih penggunaan). Cara pembuatan dengan sel surya atau sel photovoltaic dengan metode *Czochralski*. Proses pembuatan produksi selsel ini sangat mahal dan panjang dalam menciptakan silikon.

## 2. *Polycrystalline*

Jenis panel surya *polycrystalline* dapat dilihat pada gambar 2.7



**Gambar 2. 7 *Polycrystalline***

*Polycrystalline* terbuat dari batang silikon yang dihasilkan dengan cara dilelehkan dan dicetak oleh pipa paralel, didinginkan untuk membentuk Ingot. Ingot tersebut kemudian dipotong menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dengan ukuran 40 x 40 cm<sup>2</sup>, kemudian diiris menjadi wafer tipis. Wafers sel surya ini biasanya berbentuk persegi dengan ketebalan 180- 300 μm. Sel surya *Polycrystalline* mempunyai efisiensi (12 – 14%). *Polycrystalline* dibuat dengan tujuan untuk menurunkan harga produksi, sehingga memperoleh sel surya dengan harga yang lebih murah.

## 3. *Thin Film*

Jenis panel surya *thin film* dapat dilihat pada gambar 2.8



**Gambar 2. 8 Thin Film**

Teknologi pembuatan sel surya dengan lapisan tipis ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya pembuatan solar sel mengingat teknologi ini hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe *silikon wafer*. Metode yang paling sering dipakai dalam pembuatan silikon jenis lapisan tipis ini adalah dengan *plasma-enhanced chemical vapor deposition* (PEVCD) dari gas silane dan hidrogen. Lapisan yang dibuat dengan metode ini menghasilkan silikon yang tidak memiliki arah orientasi kristal atau yang dikenal sebagai *amorphous silikon* (non kristal).

### **2.5.2 Solar Charge Controller (SCC)**

*Solar Charge Controller* adalah sebuah modul yang terdapat di dalam sistem pembangkit tenaga *hybrid* berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*Current Regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar/digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*Over Charge*), ini mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. Sebagian besar Solar PV 12 volt menghasilkan tegangan keluar (*V-Out*) sekitar 16 sampai 20 volt DC (*Direct Current*), jadi jika tidak ada peraturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan yang umumnya baterai 12 volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt untuk dapat terisi penuh.[11]

- a. Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk

mencegah *over charge*, dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersuplai dari panel surya akan langsung terdistribusi ke beban / peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.

- b. Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel – sel baterai. Pada kebanyakan model *controller*, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses charging. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh *controller*, maka peralatan listrik / beban tidak dapat beroperasi. Keadaan ini disebut *overdischarge* akibat beban yang dipikul cukup besar.
- c. Pada controller tipe – tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem PLTS dapat terdeteksi dengan baik.

*Solar Charge Controller* dapat dilihat pada gambar 2.9



**Gambar 2. 9 Solar Charge Controller (SCC)**

*Solar Charge Controller* yang dipilih harus lulus test kualifikasi dan memenuhi persyaratan teknis dalam pemakaiannya. Persyaratan teknis dalam penggunaan *Solar Charge Controller* antara lain adalah:

- a. Kapasitas maksimum *input* dan *output*.
- b. Mempunyai tegangan batas bawah dan batas atas terhadap pemutusan baterai.
- c. Konsumsi diri yang sangat kecil.
- d. Mempunyai proteksi hubung singkat dan beban lebih .
- e. Tegangan jatuh yang kecil ( $< 0,5$  V) pada sisi PV – baterai dan pada sisi baterai – beban.
- f. Mempunyai “*Blocking Diode*” dan sesuai dengan kapasitas maksimum.

### 2.5.3 Baterai Aki

Baterai merupakan salah satu komponen yang digunakan pada sistem solar cell yang dilengkapi dengan penyimpanan cadangan energi listrik. Baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus searah. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (back up), yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah ampere hour (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Namun dalam proses pengosongan (discharger), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya (life time), atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan dan pabrikan. Batas pengosongan dan baterai sering disebut dengan istilah depth of discharge (DOD), yang dinyatakan dalam satuan persen, biasanya ditentukan sebesar 80%. Banyak tipe dan klasifikasi baterai yang diproduksi saat ini, yang masing-masing memiliki desain yang spesifik dan karakteristik performa berbeda sesuai dengan aplikasi khusus yang dikehendaki. Pada sistem solar cell jenis baterai lead-acid lebih banyak digunakan, hal ini dikarenakan ketersediaan ukuran (Ah) yang ada lebih banyak, lebih murah, dan karakteristik performanya yang cocok. Pada beberapa kondisi kritis, seperti kondisi temperatur rendah digunakan baterai jenis nickelcadmium, namun lebih mahal dan segi perbiayaannya. [12]

Baterai aki dapat dilihat pada gambar 2.10



**Gambar 2. 10 Baterai aki**

*Sumber : <https://www.pjutslithium.com/baterai-lithium/jual-aki-kering-12v-100ah-lifepo4-lithium-battery-hd>*

#### **2.5.4 Wattmeter**

Wattmeter adalah kombinasi dari dua alat pengukur, yaitu Amperemeter dan Voltmeter. Karena itu, Wattmeter terdiri dari dua jenis kumparan – kumparan arus dan kumparan tegangan. Kumparan arus diinstalasi secara seri dengan beban, sementara kumparan tegangan dipasang secara paralel dengan sumber tegangan. Wattmeter adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur daya listrik secara langsung. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur baik arus searah maupun arus bolak-balik. [13]

Wattmeter dapat dilihat pada gambar 2.11



**Gambar 2. 11 Wattmeter**

*Sumber:file:///C:/Users/Acer/Pictures/Volt\_Watt\_Meter\_Wattmeter\_Analyser\_Analyz  
er\_Solar\_Panel\_Wind.jpg.webp*

### 2.5.5 MCB DC

MCB (Miniature Circuit Breaker) atau Miniatur Pemutus Sirkuit adalah sebuah perangkat elektromekanikal yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian listrik dari arus yang berlebihan. Dengan kata lain, MCB dapat memutuskan arus listrik secara otomatis ketika arus listrik yang melewati MCB tersebut melebihi nilai yang ditentukan. Namun saat arus dalam kondisi normal, MCB dapat berfungsi sebagai saklar yang bisa menghubungkan atau memutuskan arus listrik secara manual.

MCB pada dasarnya memiliki fungsi yang hampir sama dengan Sekering (FUSE) yaitu memutuskan aliran arus listrik rangkaian ketika terjadi gangguan kelebihan arus. Terjadinya kelebihan arus listrik ini dapat dikarenakan adanya hubung singkat (Short Circuit) ataupun adanya beban lebih (Overload). Namun MCB dapat di-ON-kan kembali ketika rangkaian listrik sudah normal, sedangkan Fuse/Sekering yang terputus akibat gangguan kelebihan arus tersebut tidak dapat digunakan lagi. [14] MCB DC dapat dilihat pada gambar 2.12



**Gambar 2. 12 MCB DC**

*Sumber : <https://www.loomsolar.com/products/eaton-dc-mcb-32-amps-2-pole>*

### 2.5.6 Combiner Box

*Combiner Box* adalah komponen yang penting pada pembangkit listrik tenaga

surya karena *combiner box* melindungi PLTS dari gangguan-gangguan yang dapat merusak komponen lainnya di dalam sistem PLTS. *Combiner Box* dapat dilihat pada gambar 2.13



**Gambar 2. 13 Combiner Box**

### **2.5.7 Kabel Serabut**

Kabel merupakan komponen penghantar yang terisolasi yang berfungsi untuk menghubungkan antara komponen satu dengan yang lainnya pada sebuah rangkaian kelistrikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Kabel serabut dapat dilihat pada gambar 2.14



**Gambar 2. 14 Kabel Serabut**

### **2.5.8 Solar Power Meter**

Solar Power Meter adalah sebuah alat untuk menguji, mengukur intensitas energi surya. Energi surya sendiri merupakan energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui perangkat lain menjadi sumber daya energi dalam bentuk lain. Energi surya sendiri menjadi salah satu sumber daya energi selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi. Solar power meter atau perangkat

yang menguji tenaga surya, dimana sumber tenaga matahari ini dikonversi dari sinar matahari menjadi listrik, baik secara langsung dengan menggunakan photovoltaic (PV), atau langsung menggunakan concentrated solar power (CSP) atau tenaga surya terkonsentrasi. Solar power meter dapat di aplikasikan untuk berbagai kebutuhan terkait dengan aplikasi solar cell yang dimiliki seperti mengukur tingkat radiasi matahari, untuk penelitian tenaga surya, aplikasi pada bidang fisika maupun laboratorium, dan masih banyak yang lainnya. [11] Solar Power Meter dapat dilihat pada gambar 2.15



**Gambar 2. 15 Solar Power Meter**

Sumber : <https://www.walmart.ca/en/ip/Solar-Power-Meter-Light-Meter-Solar-Radiation-Tester-Optical-Solar-Research-Glass-Light-Intensity-Data-Peak-Hold/5482E9SOEATT>

### **2.5.9 Infrared Thermometer Gun**

*Termo gun* merupakan sejenis *thermometer inframerah* yang bekerja dengan mengukur jumlah radiasi *infra* merah yang dipancarkan oleh suatu benda. Radiasi IR yang dipancarkan difokuskan ke termopile menggunakan lensa; thermopile kemudian mengubah energi panas menjadi energi listrik, dan terakhir, sinyal listrik ini digunakan untuk menentukan suhu.

Termo gun, juga dikenal sebagai laser atau termometer non-kontak, adalah termometer inframerah yang mengukur suhu suatu benda dari jarak tertentu. Awalnya dimaksudkan untuk mengukur suhu benda bergerak dan permukaan yang tidak dapat diakses, termo gun telah menemukan jalannya ke rumah sakit dan dalam beberapa bulan terakhir, alat tersebut telah ada di mana-mana.

*Thermometer inframerah* memanfaatkan fakta bahwa semua benda, termasuk manusia, pada suhu di atas nol mutlak, memancarkan panas dalam bentuk radiasi termal. Ini adalah konsep yang dikenal sebagai radiasi benda hitam.

Nol mutlak (setara dengan  $-273,15$  derajat Celcius atau  $-460$  derajat Fahrenheit) adalah suhu terendah yang mungkin dicapai suatu benda dan juga titik di mana atom menunjukkan perilaku aneh dan eksotis. Namun, pada suhu apa pun di atas nol mutlak, atom berada dalam keadaan gerak konstan dan memiliki energi kinetik. Semakin tinggi suhunya, semakin banyak energi kinetik yang dimiliki atom / molekul. Ketika elektron dalam atom tereksitasi ini melompat dari satu orbit (keadaan energi) ke orbit lain atau ketika dua molekul tereksitasi bertabrakan, energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik dipancarkan. Jenis radiasi elektromagnetik ini, yang dipancarkan hanya oleh energi kinetik dan pergerakan partikel dalam materi, diklasifikasikan sebagai radiasi termal.

Menjadi bagian dari radiasi elektromagnetik, radiasi termal terdiri lebih dari satu panjang gelombang. Ini termasuk gelombang radio, gelombang inframerah, dan cahaya tampak. Jenis radiasi termal yang dipancarkan bergantung pada suhu sumber. Seperti disebutkan sebelumnya, semakin tinggi suhu, semakin cepat molekul bergerak, sehingga semakin besar jumlah radiasi yang dipancarkan. Pada suhu yang cukup tinggi, benda mulai memancarkan cahaya tampak. Matahari, misalnya, berada pada suhu mendekati  $5.600$  Celcius dan memancarkan sebagian besar radiasi termalnya sebagai cahaya tampak. Manusia dan semua hewan, di sisi lain, memancarkan radiasi infra merah yang terletak tepat di bawah cahaya tampak dalam spektrum elektromagnetik. [15] *Infrared thermometer gun* dapat dilihat pada gambar 2.16



**Gambar 2.16 *Infrared Thermometer Gun***

Sumber : <https://www.amazon.in/Infrared-Thermometer-Non-contact-Digital-Temperature/dp/B071NBJJ2Q>

## 2.6 Sistem Instalasi Solar Cell [16]

Terdapat dua sistem dalam instalasi *solar cell*, yaitu sistem dengan rangkaian seri dan sistem dengan rangkaian paralel.

### a. Rangkaian Seri Solar Cell

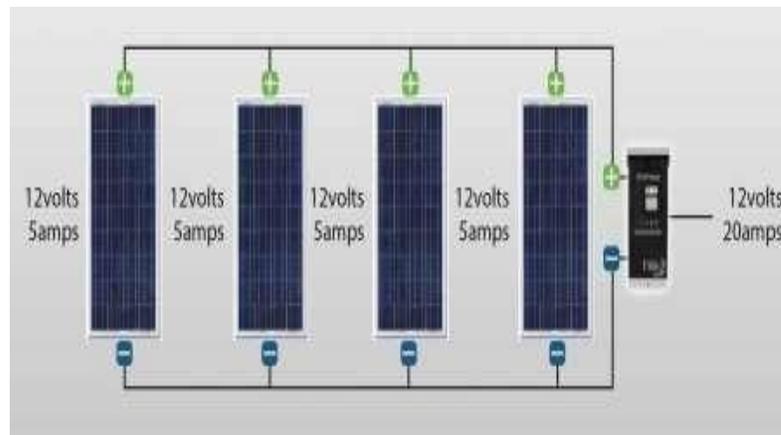
Hubungan seri suatu sel surya didapat apabila bagian depan (+) sel surya utama dihubungkan dengan bagian belakang (-) sel surya kedua seperti pada gambar 2.17



**Gambar 2. 17 Sistem dengan rangkaian seri**

### b. Rangkaian Paralel Solar Cell

Rangkaian paralel *solar cell* didapat apabila terminal kutub positif dan negatif *solar cell* dihubungkan satu sama lain dapat dilihat pada gambar 2.18



**Gambar 2. 18 Sistem dengan rangkaian paralel**

- Konfigurasi penyusunan modul surya terdiri dari konfigurasi seri dan paralel,

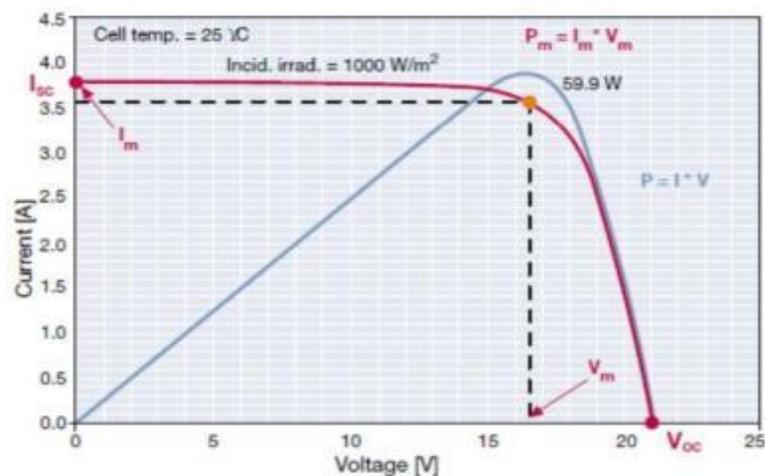
penggunaan konfigurasi ini bergantung pada kebutuhan sistem PLTS.

- Konfigurasi Seri pada panel surya digunakan untuk mendapatkan tegangan kerja yang lebih besar. Pada rangkaian seri, jumlah tegangan akan terus bertambah, sedangkan arusnya tetap sama karena modul tersebut dialirkan pada satu saluran yang sama.
- Konfigurasi paralel pada panel surya digunakan untuk mendapatkan arus kerja yang lebih besar. Pada konfigurasi paralel penambahan modul akan memperbesar jumlah arus total namun tegangan total pada rangkaian tetap.
- Meskipun dirangkai secara seri atau paralel, penambahan modul surya akan tetap menambah daya listrik, sesuai dengan prinsip :

$$\text{Daya (P)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (I)} \quad (1)$$

## 2.7 Karakteristik Listrik dari Modul Surya [16]

Karakteristik listrik dari sebuah modul surya secara umum dapat dilihat dari besarnya arus hubung singkat (*short circuit current*) dan tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya puncak (*peak power*) yang dapat dicapai. Secara sederhana, karakteristik dari modul surya ini diterangkan lewat kurva arus terhadap tegangan (*I-V Curve*) dapat dilihat pada gambar 2.19



Gambar 2. 19 Kurva Karakteristik Listrik sebuah Modul Surya

Ketika modul mendapatkan pancaran sinar matahari, tegangan yang dihasilkan dapat diukur pada kutub positif dan negatif dengan menggunakan voltmeter. Saat itu tidak ada arus yang mengalir karena sistem belum terhubung dengan beban. Jadi pengukuran ini disebut dengan *open circuit voltage* (Voc). Ketika penerapan beban atau pengisian baterai tersambung diantara kedua terminal, maka arus mengalir dari modul menuju beban. Saat hal itu terjadi maka tegangan modul lebih kecil daripada Voc.

Dengan menambahkan beban yang tersambung secara paralel, maka arus lebih banyak mengalir dan tegangan menjadi rendah. Untuk arus tertinggi yang dapat dihasilkan modul, kedua terminal modul dapat disambungkan secara langsung, dengan demikian tegangan yang terjadi adalah 0 (*nol/zero*), dan saat ini apabila diukur dengan amperemeter maka dapat diketahui arus maksimum modul tersebut yang disebut short circuit current atau Isc.

Salah satu spesifikasi yang terdapat pada PV (diberikan oleh pabrik pembuat) adalah *peak power* (daya maksimum). Daya listrik ini dapat diperoleh dengan cara menghasilkan arus dan tegangan. Untuk mendapatkan peak power dari modul maka tegangan dan arus harus maksimum, dan ini terdapat pada kurva I-V untuk 1000 W/m.

### **2.7.1 Rumus Perhitungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya [17]**

#### 1. Open Circuit Voltage (Voc)

Open Circuit Voltage Voc, merupakan kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus.

$$Voc = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{Isc}{Is} + 1 \right) \quad (2)$$

Dimana :

k = konstanta Boltzmann ( $1.30 \times 10^{-16}$  erg)

q = konstanta muatan electron ( $1.602 \times 10^{-19}$ C)

T = suhu dalam Kelvin

Is = Arus saturasi

## 2 Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )

Short Circuit Current ( $I_{sc}$ ), adalah maksimal arus keluaran dari panel sel surya yang dapat dikeluarkan di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung singkat. Untuk mengetahui arus hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$I_{sc} = qG(L_n + L_p) \quad (3)$$

$G$  = tingkat generasi

$L_n$  = panjang difusi electron

$L_p$  = panjang difusi hole

## 3 Fiil Factor (FF)

Fiil Factor merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya. Besarnya FF dapat dihitung dengan rumus :

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (4)$$

### 2.7.2 Perhitungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

1. Perhitungan daya modul surya, daya maksimal pada modul :

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

Untuk menghitung nilai FF digunakan persamaan 3 dan hasilnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$FF = \frac{18 \times 5,56}{21,6 \times 6,02}$$

$$= 0,7696566999$$

$$P_{max} = 21,6 \times 6,02 \times 0,7696566999$$

$$= 100,08 \text{ Watt}$$

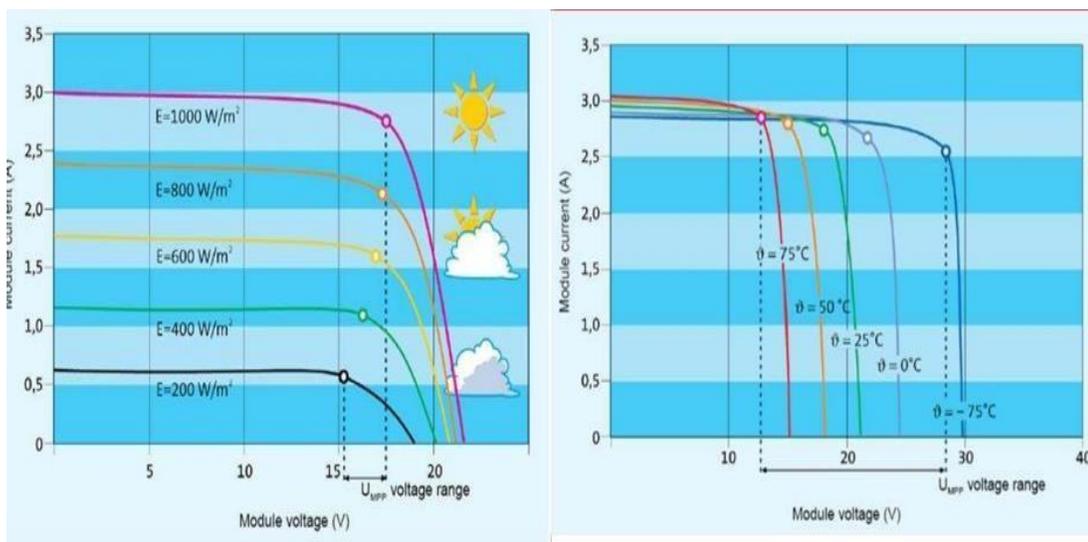
## 2.8 Faktor Yang Mempengaruhi Pengukuran Solar Cell [16]

Faktor utama yang mempengaruhi modul surya pada suatu PLTS dalam proses produksi energi listrik, adalah sebagai berikut:

### a. Iradiasi (besarnya intensitas sinar matahari) pada Modul Surya

Pengaruh iradiasi terhadap produksi energi listrik pada panel surya dapat dilihat pada gambar di bawah, yang memperlihatkan fungsi peristiwa iradiasi terhadap kurva karakteristik tegangan (V) dan arus (I). Dapat dilihat pada gambar 2.20

- Intensitas radiasi mempengaruhi **Arus** listrik
- Temperature modul mempengaruhi keluaran **Tegangan**

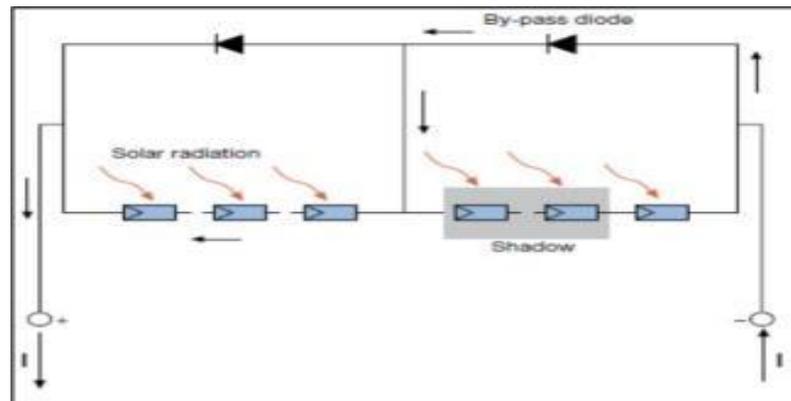


**Gambar 2. 20 Intensitas radiasi dan Temperatur modul**

Ketika iradiasi menurun, arus yang dihasilkan oleh modul surya akan menurun dengan proporsional, sedangkan variasi dari tegangan tanpa beban sangatlah kecil. Sebagai suatu kenyataan, efisiensi dari konversi pada modul surya tidak terpengaruh oleh iradiasi yang bervariasi asalkan masih dalam batas standar operasi dari modul surya, yang berarti bahwa efisiensi konversi adalah sama untuk keduanya, baik dalam kondisi cerah begitu juga kondisi mendung, oleh karena itu kecilnya energi listrik yang dihasilkan modul surya saat langit dalam kondisi mendung dapat dijadikan acuan bukannya penurunan efisiensi melainkan penurunan produksi arus listrik karena iradiasi matahari yang rendah.

### b. Bayangan (*Shading*)

Berbicara mengenai area yang digunakan oleh modul surya pada suatu PLTS, sebagian darinya (satu atau lebih sel) mungkin dibayangi atau terhalangi oleh pepohonan, daun yang jatuh, asap, kabut, awan, atau panel surya yang terpasang di dekatnya. Pada khusus shading ini, sel surya yang tertutupi akan berhenti memproduksi energi listrik dan berubah menjadi beban pasif. Sel ini akan berlaku seperti diode dalam kondisi memblok arus yang diproduksi oleh sel lain dalam hubungan seri dan akan membahayakan keseluruhan produksi dari modul surya tersebut, terlebih dapat merusak modul akibat adanya panas yang berlebih. Dalam hal ini menghindari permasalahan yang lebih besar akibat shading pada suatu string, maka diantisipasi dengan penggunaan diode *by-pass* yang terpasang paralel pada masing-masing modul. Pengaruh *shading* terhadap modul surya dapat dilihat pada gambar 2.21

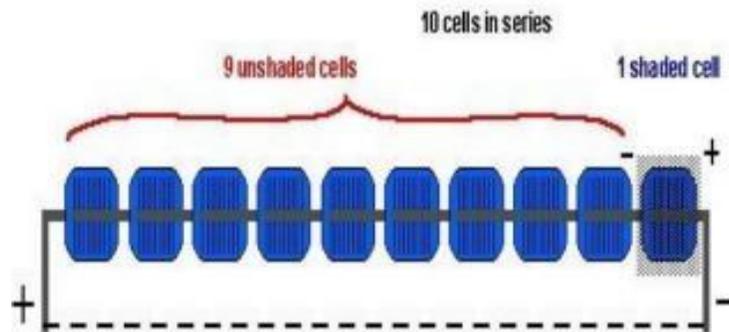


**Gambar 2. 21 Pengaruh Shading terhadap Modul Surya**

### c. Titik Panas (*Hotspot Heating*) Akibat Bayangan (*Shading*)

Titik pemanasan (*hotspot*) terjadi ketika salah satu sel suryanya terkena bayangan (*shading*) sehingga mengakibatkan arus sel surya tidak mengalir didalam rangkaian ini yang terhubung seri. Akibatnya beberapa sel surya terjadi arus short-circuit yang tinggi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.22. mengenai satu sel shading dalam sebuah string. Pada sel surya yang dinaungi bayangan akan menjadi

panas dan dapat terbakar.



**Gambar 2. 22 Satu Sel Shading dalam Sebuah String**

Pengaruh bayangan dalam sebuah sel mengakibatkan penurunan panas arus foton. Efek bayangan tidak hanya diakibatkan oleh bayangan pada modul surya, rumah pembangkit, tiang penyangga, daun – daun, debu, kotoran hewan, awan atau pohon tetapi juga berasal dari sel yang rusak atau buruk. Ketika arus foton pada sel yang rusak atau terkena bayangan menurun, maka arus yang mengalir pada keseluruhan rangkaian seri akan tertahan pada sel surya tersebut. Mengakibatkan pada sel surya yang terkena shading menimbulkan arus yang paling rendah dari sel – sel surya yang tidak terkena shading. Energi panas yang biasa disebut dengan “*hot - spot*”. Jika semakin banyak sel surya tidak terkena bayangan dengan sel surya yang terkena bayangan menimbulkan energi panas pada sel surya yang terkena panas disipasi daya yang sangat besar terjadi dalam hasil area kecil dititik "*hot - spot*", yang pada gilirannya menyebabkan efek yang merusak, seperti sel atau retak kaca, mencairnya solder atau degradasi sel surya. Untuk memitigasi kerusakan ini digunakan dioda bypass. Dioda *bypass* digunakan untuk *bypass* arus balik.

## **2.9 Penyangga dan Sistem Pelacak (*Mounting and Tracking Systems*)**

Modul surya harus terpasang pada suatu struktur/kerangka, untuk menjaganya tetap terarah pada arah yang tepat, agar lebih tersusun rapi dan terlindungi. Struktur pemasangan modul surya bisa pada struktur yang tetap (*fixed*) atau dengan sistem

pelacak sinar matahari, atau biasanya disebut *tracking systems*.

### **2.9.1 Sistem Penyangga tetap (*Fixed Mounting Systems*)**

Sistem pemasangan tetap (*fixed*) menjaga barisan dari modul surya pada sudut kemiringan yang tetap, menghadap pada suatu sudut tetap dari arah matahari yang telah ditentukan. Sudut kemiringan dan arah/orientasi pada umumnya disesuaikan berdasarkan lokasi PLTS terpasang. Sistem ini lebih sederhana, murah, dan lebih sedikit perawatan daripada sistem *tracking*.

### **2.9.2 Sistem Pelacak (*Tracking Systems*)**

Sistem pelacak adalah suatu peralatan atau sistem yang digunakan untuk mengarahkan panel surya atau pemantul cahaya terpusat terhadap matahari, sehingga dengan mengarahkan panel surya secara tepat pada posisi matahari, panel surya tersebut dapat memaksimalkan tegangan yang akan dihasilkannya.

Sistem pengikut atau pelacak memiliki dua jenis pergerakan, yaitu pengikut matahari dengan dua arah gerak (ke arah timur-barat), dan pengikut matahari dengan empat arah gerak (ke arah timur-barat dan ke arah utara-selatan). Pengikut matahari (selanjutnya disebut *solar tracker*) yang memiliki dua arah gerak (timur-barat) biasanya digunakan pada daerah-daerah yang terletak di luar garis khatulistiwa (*equinox*) dan titik balik matahari (*solstice*). Hal ini dilakukan karena posisi matahari pada daerah tersebut selalu condong ke arah utara dan selatan. Sedangkan pengikut matahari jenis kedua yang memiliki empat arah gerak (timur-barat dan utara-selatan) biasanya digunakan pada daerah yang dilalui oleh garis khatulistiwa atau di dalam titik balik matahari. Hal ini dilakukan karena posisi matahari dalam setiap tahunnya bergerak condong ke arah utara maupun ke selatan.

## **2.10 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya [18]**

### **2.10.1 Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

#### **1. Energi Melimpah**

Kelebihan pembangkit listrik tenaga surya terpenting adalah energi yang dihasilkan didapat dari sumber yang benar berlimpah yaitu matahari. Matahari tidak

akan ada habisnya, tidak seperti beberapa sumber energi lain meski matahari akan tersedia setidaknya selama 5 miliar tahun kedepan.

## 2. Mengurangi Tagihan

Keuntungan pembangkit listrik tenaga surya adalah tagihan listrik bulanan akan turun atau minimal hanya membayar biaya beban bulanan. Bahkan bisa tidak sama sekali jika Anda menggunakan PLTS offgrid. Terlebih jika sebagian atau seluruh kebutuhan energi di rumah menggunakan listrik yang dihasilkan dari PLTS. penghematan anggaran tentu saja tergantung pada ukuran kapasitas PLTS yang dibangun.

## 3. Tambahan Penghasilan

Tidak hanya akan menghemat tagihan listrik, tetapi juga ada kemungkinan untuk menerima pembayaran atas kelebihan energi yang dijual kembali ke jaringan PLN. Jika PLTS menghasilkan lebih banyak listrik daripada yang digunakan maka dapat diekspor ke PLN.

## 4. Beragam Keperluan

Energi matahari dapat digunakan untuk berbagai tujuan, baik itu untuk menghasilkan listrik atau panas. Energi matahari dapat digunakan untuk menghasilkan listrik di daerah yang tidak memiliki akses ke jaringan PLN. Untuk menyaring air dengan persediaan air bersih yang terbatas dan untuk menggerakkan satelit di luar angkasa. Energi matahari juga dapat diintegrasikan ke dalam material yang digunakan untuk bangunan, seperti memasang panel surya di atap dan jendela.

## 5. Perawatan Mudah

Sistem tenaga surya umumnya tidak membutuhkan banyak perawatan, hanya perlu menjaganya tetap bersih dan membersihkannya beberapa kali dalam setahun. Selain itu, karena tidak ada bagian yang bergerak maka tidak akan ada keausan. Meskipun, ada inverter yang biasanya menjadi bagian yang perlu diganti setelah 5-10 tahun karena terus bekerja mengubah energi matahari menjadi listrik. Selain inverter, kabel juga perlu perawatan untuk memastikan sistem tenaga surya bekerja dengan efisiensi.

## 6. Teknologi Terbaru

Teknologi dalam industri tenaga surya terus berkembang dan peningkatannya akan semakin intensif di masa depan. Inovasi dalam fisika kuantum dan nanoteknologi berpotensi dapat meningkatkan efektivitas panel surya dan bahkan dapat menggandakannya hingga tiga kali lipat dari input listrik panel surya.

### **2.10.2 Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. [18]**

#### 1. Biaya Awal Tinggi

Kekurangan pembangkit listrik tenaga surya adalah biaya awal untuk membeli komponen tenaga surya yang masih cukup mahal, termasuk untuk membeli panel surya, rak, scc, inverter, baterai, dan kabel. Namun, teknologi tenaga surya terus berkembang yang menunjukkan bahwa harga komponen PLTS akan terus turun di masa akan datang khususnya harga panel surya.

#### 2. Ketergantungan Cuaca

Meskipun energi matahari masih dapat diperoleh saat mendung dan hujan, namun efisiensinya mengalami penurunan. Kelemahan PLTS saat cuaca mendung akan menghasilkan energi lebih sedikit dibanding cuaca cerah. Apabila beberapa hari mendung dan hujan, maka cadangan listrik bisa jadi tidak akan mencukupi untuk pasokan semua perangkat elektronik di rumah. Jika ingin tetap menggunakan energi matahari saat malam maka Anda harus memasang baterai untuk menyimpan daya saat panel surya memproduksi listrik dari pagi hingga sore.

#### 3. Baterai Mahal

Energi matahari dapat langsung digunakan atau disimpan ke baterai. Bank baterai dipakai pada PLTS sistem off grid dan hybrid, dimana pengisian baterai dapat dilakukan dari pagi hingga sore hari. Dengan begitu energi yang disimpan dapat digunakan saat malam tiba. Cara ini merupakan pilihan yang tepat agar dapat menggunakan energi matahari sepanjang hari. Meski biaya yang harus dikeluarkan cukup mahal untuk mendapatkan baterai dalam jumlah yang banyak. Apabila ingin

berhemat, lebih baik memasang PLTS on grid dimana energi matahari digunakan dari pagi sampai sore sementara listrik PLN digunakan saat malam.

#### 4. Butuh Ruang

Semakin banyak listrik yang ingin dihasilkan, semakin banyak panel surya yang diperlukan, karena sinar matahari harus dikumpulkan sebanyak mungkin. Akibatnya butuh banyak ruang dan atap yang besar untuk memuat sejumlah panel surya. Alternatif lainnya bisa memasang beberapa panel surya di halaman rumah atau memasang lebih sedikit untuk tetap memenuhi sebagian kebutuhan listrik.

#### 5. Limbah dan Polusi

Meskipun polusi yang terkait dengan sistem energi matahari jauh lebih sedikit dibandingkan dengan sumber energi lain. Ada beberapa bahan beracun dan berbahaya yang digunakan selama proses pembuatan panel surya. Secara tidak langsung bahan tersebut dapat menciptakan limbah di kemudian hari. Namun demikian, polusi energi matahari jauh lebih sedikit dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya.