

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka akan dijelaskan beberapa hal terkait sistem yang diterapkan. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran umum mengenai sistem yang akan dibuat. Selain itu juga berguna untuk membantu pembuatan sistem sehingga dapat diketahui kebutuhannya.

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Intensitas cahaya yang masuk dan terserap oleh panel surya setiap waktu selalu berubah-ubah, umumnya intensitas cahaya matahari pada pagi dan sore hari rendah, intensitas cahaya matahari pada pagi hari jam 09.00 WIB dalam kondisi cerah adalah 185051 lux sedangkan disore hari jam 17:00 WIB sebesar 98100 lux. Penyerapan *energy* matahari yang optimal dalam satu hari penuh saat kondisi cerah dapat mencapai 9 jam sedangkan pada kondisi cuaca yang mendung atau hujan penyerapan yang optimalnya kurang dari 5 jam untuk satu harinya. Untuk menentukan nilai beban dan kapasitas baterai menggunakan data pengukuran yang berbeda yakni Perhitungan nilai kapasitas aki atau baterai yang terpasang menggunakan data pengukuran saat kondisi cuaca yang cerah, dan sementara perhitungan beban yang terpasang menggunakan data pengukuran saat kondisi cuaca hujan[2].

Penelitian yang dilakukan oleh I K Agus Setiawan, I N Satya Kumara, I Wayan Sukerayasa. Potensi optimum dari produksi energi listrik per tahun yang dihasilkan PLTS Kayubih tanpa adanya faktor shading adalah 1656 MWh, dengan rasio performa (PR) sebesar 83,6 %. Produksi energi listrik PLTS Kayubih selama kurun waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013 lebih kecil dibandingkan dengan potensi optimum produksi energi listrik hasil simulasi PVSyst, yaitu sejumlah 729,08 MWh dengan selisih

sebesar 32,3 % terhadap hasil simulasi sejumlah 1076,94 MWh. Produksi energi listrik yang tidak optimum disebabkan oleh perbedaan iklim iradiasi dan rendahnya iradiasi matahari yang diterima panel surya akibat adanya shading, serta gangguan yang terjadi pada sistem PLTS, yang sekaligus menyebabkan penurunan unjuk kerja spesifik PLTS Kayubihhi selama kurun waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013 yaitu 3,202 jam per hari, dengan faktor kapasitas (CF) sebesar 13,34 %, dibandingkan hasil simulasi yaitu 4,686 jam per hari dengan CF 19,53%[3].

Penelitian yang dilakukan oleh Riskha Mirandha Hamid, Rizky, Mohamad Amin, Ida Bagus D.Telah dilakukan proses perancangan dan pembuatan alat charger baterai 12 V untuk keperluan Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Balikpapan. Dimana proses pengisian baterai (charge) menggunakan sumber tegangan AC 220 V yang diturunkan menjadi 15 V untuk inputnya. Pada alat charger, terminal negatif sumber DC terhubung ke plat negatif atau anoda dari baterai dan terminal positif dari sumber adalah terhubung ke plat positif atau katoda baterai. Dari percobaan diperoleh Tegangan keluaran (V out) 12.20 V, Arus keluaran (I Out) 0.6 - 0.9 A. Arus yang masuk ke batrai dengan Alat charger sebesar 0.6 A sampai dengan 0.88 A dengan tegangan input sebesar 15 Volt, Waktu yang dibutuhkan untuk proses charging selama 8,33 jam[4].

Keandalan tegangan dan arus panel surya melalui proses pengisian-pengosongan telah dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja panel surya yang akan dipasang di lapangan. Proses pembebanan pada saat pengujian disesuaikan dengan kondisi beban yang harus dipasok oleh panel surya sesuai dengan kebutuhan, yaitu untuk baterai 12 V 90 AH dan untuk Lampu LED 10 W, ini sesuai dengan kebutuhan lapangan yang telah dihitung sebesar

12 V 600 mA. Proses pengisian-pengosongan dilakukan terhadap dua panel surya dengan daya maksimum masing- masing 50 W. Kedua panel surya dihubungkan paralel sehingga daya maksimum menjadi 100 W. Untuk pengisian baterai dibutuhkan arus 3,6 A atau identik dengan daya sekitar 43,2 W. Baterai yang digunakan adalah baterai 12V/90AH. Pengujian dilakukan satu bulan penuh pada Mei 2013 di Kawasan Puspiptek Serpong [5].

## **2.2 Landasan Teori**

Dalam penelitian diperoleh dari beberapa teori yang menjadi dasar pengetahuan dalam mendukung pelaksanaan penelitian. Landasan teori yang digunakan dalam penelitian pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap charging current pada Panel Surya tipe Polycrystalline akan dijelaskan sebagai berikut :

### **2.2.1 Energi Surya**

Energi surya adalah *energy* yang didapat dengan mengubah *energy* surya(matahari)melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk *energy* lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit listrik selain air, uap, angin, biogas dan energi fosil. Energi surya (matahari) memainkan peran penting dalam memfasilitasi banyak proses fisik dan biologis di planet kita. Salah satu inisiatif yang dapat dilakukan adalah pendirian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Wilayah tropis Indonesia memiliki potensi pembangkitan energi surya yang signifikan, ditandai dengan rata-rata insolasi harian berkisar antara 4,5 hingga 4,8 kilowatt-jam per hari. Intensitas radiasi matahari berperan penting dalam menentukan energi listrik yang dihasilkan sel surya.

### **2.2.2 Panel Surya**

Panel surya merupakan teknologi yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan sel *fotovoltaik* (PV). Panel surya dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, terbarukan dan tidak menimbulkan polusi.



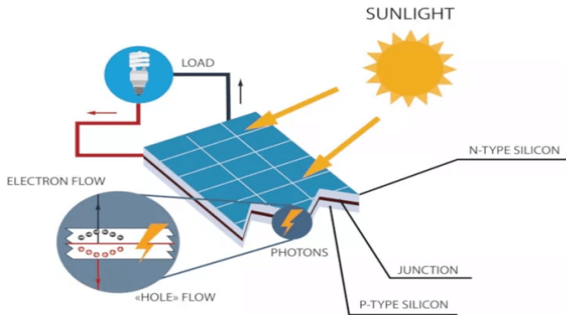
Gambar 2. 1 Panel Surya Polycrystalline

Panel surya jenis ini terbuat dari silikon yang dipotong menjadi banyak kristal kecil yang tersusun acak. Panel surya jenis ini mempunyai efisiensi konversi energi sekitar 15- 17% yang berarti sekitar 15-17% energi matahari yang diterima panel surya dapat diubah menjadi energi listrik. Panel surya jenis ini juga lebih terjangkau dibandingkan panel surya monokristalin berbahan silikon murni dengan kristal besar. Salah satu produk panel surya polikristalin yang saat ini beredar di pasaran adalah panel surya polikristalin 100 Wp, dengan kapasitas maksimal 100 watt, tegangan maksimal 17,6 volt, arus maksimal 5,69 amps dan dimensi 102 x 67 x 3 cm. Panel surya ini dapat digunakan untuk berbagai cara, seperti penerangan jalan umum menggunakan tenaga surya, sistem rumah menggunakan tenaga surya, pengawasan video menggunakan energi surya, pompa air

menggunakan energi surya atau fotovoltaik surya terkonsentrasi. Panel surya ini juga memiliki fungsi bebas PID (*Potential Degradation*), yang berarti tidak rentan terhadap penurunan kinerja akibat perbedaan potensial antara sel surya dan rangka. Pada penelitian ini digunakan panel surya polikristalin dengan kapasitas 100 Wp (*peak watt*), artinya panel surya dapat menghasilkan daya maksimal 100 watt dalam kondisi optimal. Energi listrik yang dihasilkan panel surya kemudian disimpan pada baterai berukuran 12 volt 70 Ah (amp hour), artinya baterai tersebut mampu menyimpan energi listrik sebesar  $12 \text{ volt} \times 70 \text{ Ah} = 840 \text{ Wh}$  (watts). Energi listrik yang disimpan dalam baterai selalu dalam bentuk tegangan arus searah (DC). Untuk itu diperlukan inverter yang dapat mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga.

### **2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

PLTS adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (*fotovoltaik*) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, atau bahan semikonduktor lainnya, yang kemudian tersusun menjadi modul surya. Gambar 2.2 memperlihatkan [3].



Gambar 2. 2 Bagaimana Sel Surya Bekerja

PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC, yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan. Pada umumnya PLTS terdiri atas beberapa komponen utama yaitu, generator sel surya (PV generator) yang merupakan susunan modul surya pada suatu sistem penyangga, inverter untuk mengkonversi arus DC menjadi arus AC baik sistem satu fasa atau tiga fasa untuk kapasitas besar, *charge controller* dan baterai untuk PLTS dengan sistem penyimpanan (*storage*), serta sistem kontrol dan monitoring operasi PLTS[6].

Berdasarkan lokasi pemasangannya sistem PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu, sistem pola tersebar (*distributed PV plant*) dan sistem terpusat (*centralized PV plant*). Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem tidak terhubung jaringan (*off-grid PV plant*) atau lebih dikenal dengan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), dan sistem PLTS terhubung jaringan (*grid-connected PV plant*). Apabila dalam penggunaannya PLTS digabung dengan jenis pembangkit listrik lain maka disebut sistem hybrid.

## 2.4 Daya dan Efisiensi Pada Panel Surya

Untuk mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan, kita harus terlebih dulu mengetahui daya yang diterima (daya *input*), dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area panel PV dengan persamaan [6].

$$P_{in} = E \times A \quad (2.1)$$

Keterangan :

$P_{in}$  = Daya *input* akibat *irradiance* matahari (Watt)

$E$  = Intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas area permukaan *photovoltaic* panel (m<sup>2</sup>)

Sedangkan untuk besarnya daya pada panel surya ( $P_{out}$ ) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), dengan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), dan *Fill Factor* ( $FF$ ) yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut[6] :

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2.2)$$

Keterangan :

$p_{out}$  = Daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* (Watt)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka pada *photovoltaic* (Volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat pada *photovoltaic* (Ampere)

$FF$  = *Fill Faktor*

Sedangkan *output* dari panel surya adalah arus dan tegangan. Untuk menghitung dayayang dihasilkan oleh panel surya, digunakan rumus dari persamaan berikut ini[6] :

$$P_{out} = V_{pv} \cdot I_{pv} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$p_{out}$  = Daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* (Watt)

$V_{pv}$  = Tegangan panel surya (Volt)

$I_{pv}$  = Arus keluar panel surya (Ampere)

Sedangkan untuk menentukan efisiensi panel surya b didapat dengan membagikan daya masukan dengan dengan daya keluaran dikali 100% [1],dengan menggunakan rumus :

$$n = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100 \quad (2.4)$$

Efisiensi yang terjadi pada panel surya merupakan perbandingan daya yang dapat dibandingkan oleh panel surya dengan energi input yang diperoleh dari *irradiancematahari*, efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data[6].

$$\eta = \frac{P}{I_r \times a} \times 10 \quad (2.5)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi *Photovoltaic* (%)

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari ( $\text{Watt}/\text{m}^2$ )

$P$  = Daya output yang dibangkitkan oleh *photovoltaic* (Watt)

A = Luasan permukaan panel surya atau *photovoltaic* ( $m^2$ )

## 2.5 Jenis-jenis Panel Surya

Ada tiga jenis panel surya yang terbuat dari silicon adalah

### 2.5.1 Monokristal (Mono-Csyalline)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 16% hingga 25%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Panel surya monokristalin memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan[7].

Kelebihan :

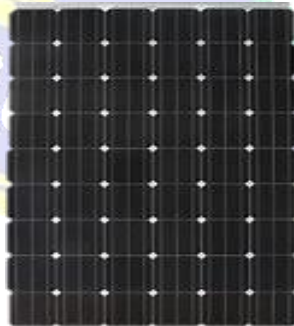
1. Efisiensi tinggi: Panel surya monokristalin memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi, artinya dapat menghasilkan daya lebih besar dalam ruang yang lebih sedikit dibandingkan panel surya polikristalin
2. Performa bagus dalam kondisi cahaya redup: Monokristalin cenderung berperforma lebih baik dalam kondisi cahaya redup atau cuaca buruk, seperti awan tebal atau di pagi dan sore hari.
3. Daya tahan tinggi: Panel surya monokristalin biasanya memiliki masa pakai lebih lama dan lebih tahan terhadap korosi dan kerusakan fisik karena terbuat dari monosilikon murni.

4. Estetika: Seringkali dianggap lebih estetik karena warnanya yang seragam dan desainnya yang lebih modern, sehingga cocok untuk diterapkan di rumah atau bangunan komersial

Kekurangan :

1. Biaya lebih tinggi: Biaya produksi silikon monokristalin lebih tinggi dibandingkan silikon polikristalin, sehingga panel surya monokristalin lebih mahal.
2. Sensitif terhadap kinerja yang dipengaruhi suhu: Kinerja panel surya monokristalin dapat dipengaruhi oleh suhu tinggi. Ketika suhu meningkat, efisiensi konversi energinya cenderung menurun.
3. Risiko kerusakan yang lebih rendah: Karena struktur monokristalannya, panel surya monokristalin mungkin lebih rentan terhadap kerusakan fisik jika terkena tekanan atau benturan dibandingkan panel surya polikristalin dengan struktur kristal yang lebih kompleks.

Pilihan antara panel surya monokristalin dan polikristalin bergantung pada kebutuhan energi, preferensi anggaran dan estetika, serta kondisi lingkungan di mana panel surya akan dipasang.



Gambar 2. 3 Panel Surya Monokristalin

### 2.5.2 Polikristal (Poly-Crystalline)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya polikristalin menghasilkan energi listrik dari sinar matahari melalui proses fotovoltaik. Ketika sinar matahari menyinari panel surya, foton dari matahari menginduksi aliran elektron pada bahan semikonduktor panel surya, sehingga menimbulkan arus listrik.

*Output* daya panel surya polikristalin dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk intensitas sinar matahari, suhu lingkungan, dan kinerja panel surya itu sendiri. Intensitas sinar matahari yang lebih tinggi dan suhu yang lebih rendah cenderung meningkatkan keluaran daya panel surya. Efisiensi panel surya polikristalin biasanya berkisar antara 14% hingga 16%, meskipun hal ini bergantung pada teknologi dan kualitas[7]. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah. Proses produksi energi panel surya polikristalin mirip dengan panel surya monokristalin, namun terdapat perbedaan pada struktur bahan semikonduktor yang digunakan. Panel surya polikristalin menggunakan sel surya yang terbuat dari kristal silikon polikristalin, yang terdiri dari sejumlah kristal kecil atau butiran kristal yang diikat menjadi satu. Berikut penjelasan proses pembangkitan listrik pada panel surya polikristalin :

1. Penyerapan sinar matahari: Panel surya polikristalin menggunakan sel surya silikon polikristalin untuk menyerap sinar matahari. Ketika sinar matahari mengenai panel surya, foton dari matahari mengenai kristal

silikon polikristalin.

2. Pembentukan pasangan lubang elektron: Ketika foton dari matahari mengenai kristal silikon polikristalin, foton tersebut menyerap energi dan dapat menghasilkan pasangan lubang elektron pada bahan semikonduktor. Elektron ini kemudian dilepaskan dari ikatan atom dan bergerak bebas di dalam bahan semikonduktor.
3. Pembangkitan arus listrik: Elektron yang dilepaskan dari pasangan elektron- lubang akan bergerak menuju elektroda negatif, sedangkan lubang akan bergerak menuju elektroda positif. Hal ini menciptakan arus listrik pada rangkaian tertutup yang terhubung ke panel surya.
4. Penangkapan arus: Arus yang dihasilkan oleh panel surya polikristalin dikumpulkan oleh konduktor yang dipasang di dalam panel dan disalurkan melalui kabel penghubung ke sistem kelistrikan. Dalam sistem yang lebih besar, arus ini sering kali disalurkan ke inverter untuk mengubahnya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh rumah tangga atau didistribusikan ke jaringan listrik.
5. Penggunaan energi listrik: Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya polikristalin dapat digunakan langsung untuk memberi daya pada perangkat elektronik atau disimpan dalam sistem penyimpanan energi untuk digunakan bila diperlukan.

Proses ini terus berlangsung selama panel surya terkena sinar matahari sehingga dapat terus menghasilkan energi sepanjang hari. Meskipun efisiensi konversi energinya mungkin sedikit lebih rendah dibandingkan panel surya monokristalin, panel surya polikristalin masih menjadi pilihan populer karena biayanya yang relatif lebih rendah dan kinerjanya yang baik. Panel surya polikristalin memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan.

### Keunggulan :

1. Biaya produksi lebih rendah: Proses produksi panel surya polikristalin lebih sederhana dan murah dibandingkan dengan panel surya monokristalin. Hal ini menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis bagi banyak konsumen.
2. Peringkat kinerja baik: Meskipun kinerjanya secara umum sedikit lebih rendah dibandingkan panel surya monokristalin, panel surya polikristalin masih memiliki peringkat kinerja yang baik, seringkali berkisar antara 14% hingga 16%.
3. Ketahanan suhu yang lebih baik: Panel surya polikristalin cenderung lebih tahan terhadap fluktuasi suhu dibandingkan panel surya monokristalin. Ini berarti kinerjanya relatif stabil bahkan dalam kondisi suhu ekstrem.
4. Lebih toleran terhadap naungan: Panel surya polikristalin cenderung lebih toleran terhadap naungan atau penutupan sebagian sel surya. Kebanyakan sel surya polikristalin tidak akan mematikan seluruh panel surya jika dinaungi, seperti halnya panel surya monokristalin.

### Kekurangan :

1. Efisiensi lebih rendah: Meskipun memiliki efisiensi yang baik, panel surya polikristalin biasanya memiliki tingkat efisiensi yang sedikit lebih rendah dibandingkan panel surya monokristalin. Artinya, untuk menghasilkan jumlah daya yang sama, Anda mungkin perlu memasang lebih banyak panel surya polikristalin.
2. Kurang menarik secara estetika: Panel surya polikristalin cenderung memiliki warna yang lebih tidak konsisten dan tampilan yang kurang

konsisten dibandingkan panel surya monokristalin. Hal ini dapat menjadi pertimbangan penting untuk aplikasi yang berkaitan dengan estetika, seperti instalasi dirumah atau bangunan komersial.

3. Lebih rentan terhadap degradasi yang cepat: Panel surya polikristalin cenderung kehilangan kinerja lebih cepat seiring berjalannya waktu dibandingkan panel surya monokristalin. Meskipun proses ini umumnya lambat, namun tetap perlu dipertimbangkan dalam perencanaan jangka panjang.
4. Ruang yang dibutuhkan: Karena efisiensi yang sedikit lebih rendah, panel surya polikristalin mungkin memerlukan lebih banyak ruang untuk menghasilkan daya yang sama dengan panel surya monokristalin. Ini bisa menjadi masalah jika ruang instalasi terbatas.



Gambar 2. 4 Panel Surya Polikristal

### 2.5.3 Thin Film Photovoltaic

Merupakan Panel Surya ( dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal- silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang

dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang diterima setara. cara kerja thin film sebagai berikut :

1. Menyerap sinar matahari: Panel surya film tipis menggunakan lapisan tipis bahan semikonduktor, seperti silikon amorf, CdTe (*cadmium telluride*) atau CIGS (*Cuprite-Indium-Galium-Selenide*), untuk menyerap sinar matahari. Saat sinar matahari menyinari panel surya, foton dari sinar matahari akan menyinari lapisan semikonduktor ini.
2. Pembentukan pasangan lubang elektron: Ketika foton dari sinar matahari mengenai lapisan semikonduktor, foton tersebut menyerap energi dan menghasilkan pasangan lubang elektron pada bahan semikonduktor. Elektron ini kemudian dilepaskan dari ikatan atom dan bergerak bebas di dalam bahan semikonduktor.
3. Pembangkitan arus listrik: Elektron yang dilepaskan dari pasangan elektron- lubang akan bergerak menuju elektroda negatif, sedangkan lubang akan bergerak menuju elektroda positif. Hal ini menciptakan arus listrik pada rangkaian tertutup yang terhubung ke panel surya.
4. Penangkapan Arus: Arus yang dihasilkan oleh panel surya film tipis kemudian dikumpulkan oleh konduktor yang dipasang di panel dan disalurkan melalui kabel penghubung ke sistem kelistrikan. Dalam sistem yang lebih besar, arus ini sering kali disalurkan ke inverter untuk mengubahnya menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan oleh rumah tangga atau didistribusikan ke jaringan listrik.

5. Penggunaan energi listrik: Energi listrik yang dihasilkan panel surya film tipis dapat digunakan langsung untuk memberi daya pada perangkat elektronik atau disimpan dalam sistem penyimpanan energi untuk digunakan bila diperlukan.

Proses ini terus berlanjut selama panel surya film tipis terkena sinar matahari, sehingga dapat terus menghasilkan energi sepanjang hari. Meskipun efisiensi konversi energinya cenderung lebih rendah dibandingkan panel surya kristalin, panel surya film tipis menawarkan keunggulan berupa biaya produksi yang lebih rendah, kemudahan pemasangan, dan penggunaan yang fleksibel.



Gambar 2. 5 Panel Surya Film Tipis

## 2.6 Baterai

Baterai adalah perangkat portabel yang mengandung sel-sel kimia yang dapat menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia. Salah satu alat untuk penyimpanan dan konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Sebuah baterai terdiri dari tiga element penting, yaitu [8] :

1. Batang karbon sebagai anode (kutub positif)
2. Seng (Zn) sebagai katode (kutub negatif)

### 3. Pasta sebagai elektrolit

Baterai umumnya terdiri dari beberapa sel yang terhubung secara seri atau parallel untuk memberikan tegangan dan kapasitas yang diinginkan. Adapun penjelasan terperinci mengenai baterai :

#### 1. Sel Kimia

Sel kimia adalah komponen utama dalam baterai yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Setiap sel terdiri dari dua elektroda (anoda dan katoda) yang terpisah oleh elektrolit. Elektroda-anoda adalah terminal negatif di mana terjadi oksidasi, sementara elektroda-katoda adalah terminal positif di mana terjadi reduksi. Material elektroda dan elektrolit yang digunakan dapat bervariasi tergantung pada jenis baterai.

#### 2. Elektroda anoda

Elektroda anoda adalah bagian baterai di mana terjadi reaksi oksidasi. Biasanya, elektroda anoda terbuat dari logam atau paduan logam yang memiliki kemampuan untuk melepaskan elektron secara spontan. Contoh elektroda anoda termasuk seng (Zn) dalam baterai seng-karbon

#### 3 Elektroda katoda

Elektroda katoda adalah bagian baterai di mana terjadi reaksi reduksi. Biasanya, elektroda katoda terbuat dari senyawa kimia atau logam yang memiliki kemampuan untuk menerima elektron dari elektroda anoda. Contoh elektroda katoda termasuk dioksida mangan ( $MnO_2$ ) dalam baterai seng-karbon dan oksida logam

#### 4 Elektrolit

Elektrolit adalah zat kimia yang menghubungkan elektroda anoda dan katoda dalam baterai. Elektrolit memungkinkan perpindahan ion positif dan negatif antara elektroda, sehingga memungkinkan arus listrik mengalir. Ada dua jenis elektrolit yang umum digunakan dalam baterai: elektrolit cair dan elektrolit padat. Elektrolit cair dapat berupa larutan elektrolit, sedangkan elektrolit padat dapat berupa bahan seperti gel elektrolit atau polimer elektrolit

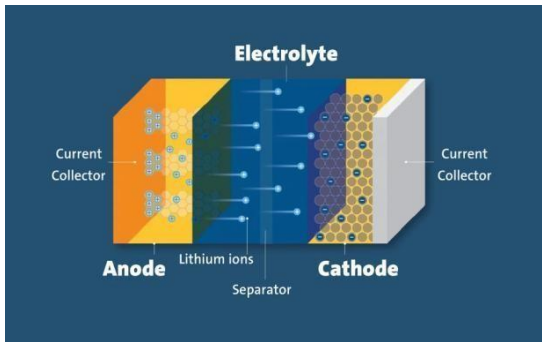
#### 5 Tegangan

Tegangan baterai adalah perbedaan potensial antara elektroda anoda dan katoda yang menghasilkan dorongan arus listrik. Tegangan baterai ditentukan oleh potensial elektrokimia dari reaksi kimia yang terjadi di dalam sel baterai

#### 6. Kapasitas

Kapasitas baterai adalah jumlah energi listrik yang dapat disimpan dan dihasilkan oleh baterai dalam kondisi tertentu. Kapasitas biasanya diukur dalam *ampere-jam* (Ah) atau *milliampere-jam* (mAh).

Berdasarkan cara kerjanya baterai memiliki sel elektrokimia yang terbagi menjadi dua, yaitu sel galvanis dan sel elektrolisa. Sel galvanis disebut juga sel volta yang dapat merubah energi kimia menjadi energi listrik, sedangkan sel elektrolisa merubah energi listrik untuk menggerakkan reaksi kimia tak spontan [8][9].



### 2.6.1 Pengisian arus pada aki (*accumulator*)

Perhitungan arus pada pengisian aki (*accumulator*) pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) didasarkan pada output panel surya, efisiensi sistem, dan spesifikasi aki yang digunakan. Berikut adalah rumus pengisian aki :

$$I = \frac{P_{pv}}{V_{bat} \times \eta} \quad (2.6)$$

- I = Arus pengisian (Ampere)
- $P_{pv}$  = Daya keluaran panel surya (Watt)
- $V_{bat}$  = Tegangan nominal aki (Volt)
- $\eta$  = Efisiensi sistem (80-95% atau 0.8-0.95)

### 2.6.2 Jenis-Jenis Baterai (*accumulator*)

- Aki Basah

Hingga kini, aki yang paling banyak digunakan adalah jenis basah yang mengandung cairan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Ciri khasnya adalah adanya lubang dengan penutup yang berfungsi untuk menambah air aki ketika terjadi penguapan akibat reaksi kimia

antara sel dan cairan aki. Sel-selnya terbuat dari timbal (Pb). Kelemahan dari aki ini adalah pemiliknya harus secara rutin memeriksa ketinggian air aki. Cairannya sangat korosif, dan uap yang dihasilkan mengandung hidrogen yang mudah terbakar serta bisa meledak jika terkena percikan api. Aki ini juga memiliki tingkat self-discharge yang lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya, sehingga perlu diisi ulang jika dibiarkan terlalu lama[8].



Gambar 2. 7 Aki Basah

- Aki hybrid

Pada dasarnya, aki hybrid mirip dengan aki basah, namun perbedaannya terletak pada material komponen selnya. Aki hybrid menggunakan low- antimonial pada sel positif (+) dan kalsium pada sel negatif (-). Jenis aki ini memiliki performa serta tingkat self-

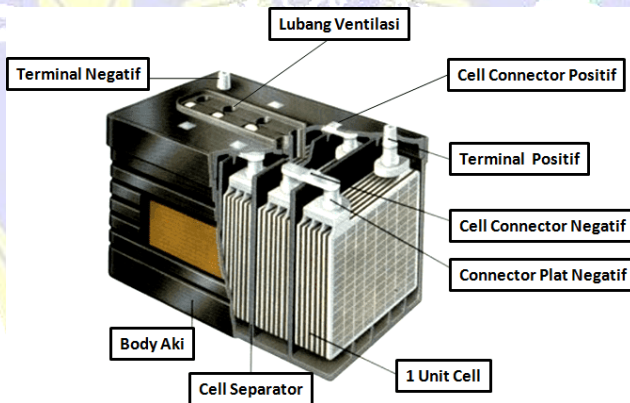
discharge yang lebih baik dibandingkan dengan aki basah konvensional[8].



Gambar 2. 8 Aki Hybird

- *Aki calcium*

Kedua sel, baik positif (+) maupun negatif (-), menggunakan material kalsium. Aki jenis ini memiliki performa yang lebih baik dibandingkan aki hybrid. Selain itu, tingkat penguapannya juga lebih rendah dibandingkan dengan aki basah konvensional.



## 2.7 Efisiensi Akumulator

Cara kerja aki adalah melalui perubahan reaksi kimia antara bahan aktif (Pb, PbO, PbSO<sub>4</sub>) dan elektrolit (larutan asam sulfat atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), yang menciptakan perbedaan potensial antara kutub positif dan negatif, sehingga dapat menghasilkan arus listrik hingga batas waktu tertentu[10].

Untuk menghitung berapa daya yang dibutuhkan untuk mengisi aki maka digunakan persamaan sebagai berikut[11]:

$$P = V \times I \quad (2.7)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

## 2.8 Parameter Akumulator

Beberapa parameter yang penting dalam akumulator adalah :

### 2.8.1 Kapasitas akumulator

Kapasitas akumulator adalah kemampuan untuk mentransfer arus yang dapat diterima atau dilepaskan untuk beban dalam waktu tertentu (jam). Kapasitas ini diukur dalam satuan *Ampere Hour* (Ah). Misalnya, jika

sebuah akumulator memiliki kapasitas 35Ah, maka akumulator tersebut harus dapat menyuplai atau menerima arus sebesar 35A selama 1 jam.

### 2.8.2 Tenaga akumulator

Tegangan terminal dalam kondisi operasi disebut sebagai tegangan nominal atau tegangan kerja. Nilai tegangan ini ditentukan oleh pabrikan akumulator. Biasanya, tegangan ini memiliki nilai 6V, 12V, 24V, dan sebagainya[11].

### 2.8.3 State of Charge (SOC)



Gambar 2. 10 State Of Charge

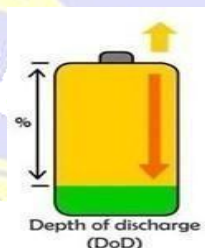
Gambar 2.10 menampilkan indikator baterai, di mana warna hijau menunjukkan jumlah energi yang tersimpan di dalamnya. *State of charge* adalah perbandingan antara energi yang tersisa dan kapasitas maksimum energi pada baterai. Nilai *State of Charge* juga dapat dinyatakan dalam persentase, mulai dari 0% hingga 100%. Estimasi State of Charge sangat penting dalam penggunaan baterai. Estimasi yang akurat diperlukan untuk mencegah kerusakan sistem serta menghindari kondisi overcharge dan overdischarge, yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai. Sebagai contoh, jika baterai memiliki kapasitas 100% dan telah digunakan sebesar 20%, maka SOC-nya adalah 80%[11].

Voltage	State of Charge
12.60+	100%
12.50	90%
12.42	80%
12.32	70%
12.20	60%
12.06	50%
11.90	40%
11.75	30%
11.58	20%
11.31	10%
10.50	0%

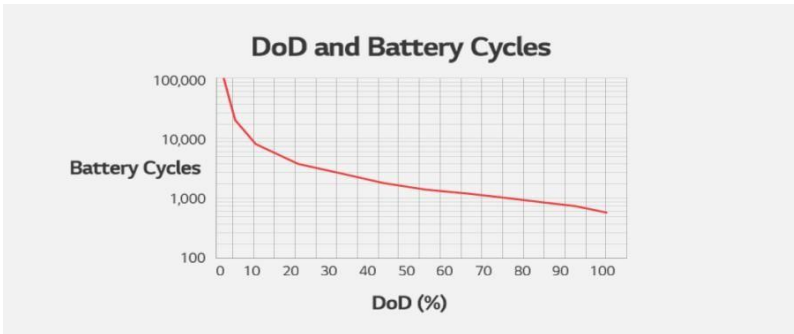
Gambar 2. 11 Indikator Baterai

Gambar 2.11 menunjukkan bahwa pada tegangan antara 12,2 volt hingga lebih dari 12,6 volt, kondisi akumulator dianggap baik. Namun, jika tegangan menurun dari 11,7 volt hingga 11,5 volt, kondisi aki sudah tidak baik dan dapat mengurangi siklus hidup akumulator. Ketika tegangan mencapai antara 11,3 volt hingga 10,5 volt, akumulator akan mengalami kerusakan permanen

#### 2.8.4 Depth of Charge (DOD)



Gambar 2. 12 Depth Of Discharge



Gambar 2. 13 Grafik Pengaruh Nilai DOD Terhadap Siklus Baterai

Gambar 2.13 menunjukkan bahwa siklus hidup baterai lead-acid bervariasi tergantung pada besar atau kecilnya nilai *Depth of Discharge* (DOD) yang digunakan. Siklus hidup mencerminkan proses pengisian dan pengosongan, di mana satu siklus terdiri dari satu pengisian dan satu pengosongan. Jumlah siklus baterai dapat mencapai sekitar 4000 kali dengan DOD sebesar 25%, sementara dengan DOD 80%, baterai hanya akan memiliki sekitar 1800 siklus. Oleh karena itu, pemilihan nilai DOD sangat penting untuk menentukan jumlah siklus atau umur baterai yang diinginkan. Semakin tinggi nilai DOD, semakin sedikit siklus hidup yang akan dimiliki oleh baterai.

## 2.9 SCC atau *Solar Control Charging*

Overcharge adalah kondisi pengisian arus listrik ke dalam baterai secara berlebihan. Jika menggunakan alat pengisi daya (charger) yang umum dijual di pasaran, proses pengisian akan otomatis berhenti ketika arus dari charger accu mencapai nol (tidak ada lagi arus yang mengalir), menandakan bahwa

baterai sudah terisi penuh. Pengisian daya listrik menggunakan panel *fotovoltaik* (PV) ke dalam baterai berbeda dengan metode charger accu. Hal ini terjadi karena arus listrik yang dihasilkan PV bersifat fluktuatif sesuai intensitas radiasi matahari dan pengisian akan terus berlanjut selama masih ada radiasi, tanpa memperhatikan apakah baterai sudah penuh atau belum. Oleh karena itu Alat yang berfungsi untuk menghentikan pengisian arus listrik ke dalam baterai saat baterai telah mencapai kondisi penuh. Dalam sistem fotovoltaik, alat ini dikenal sebagai *Solar Charge Controller* atau SCC[14].

Pada kondisi tertentu (misalnya untuk kebutuhan "ekualisasi"), pengisian baterai dapat dihentikan ketika tegangan baterai mencapai sekitar 14,5–15,0V. Penghentian arus pengisian ini umumnya dilakukan secara elektronik oleh perangkat atau sistem kontrol SCC, yang secara otomatis akan memutus arus jika baterai telah mencapai tegangan penuh. Penghentian arus ini bertujuan untuk mencegah kondisi "gassing" pada baterai yang terlalu sering, karena hal tersebut dapat menyebabkan penguapan air dalam baterai serta korosi atau karat pada grid baterai.

*Under discharge* adalah kondisi di mana arus listrik dari baterai dilepaskan secara berlebihan hingga baterai menjadi kosong. Pada sistem fotovoltaik, SCC (*Solar Charge Controller*) berfungsi berbeda dengan "Cut-Out" pada mobil atau motor. "Cut-Out" tidak memiliki sistem atau kontrol untuk menghentikan pelepasan arus yang terus menerus ketika baterai sudah mencapai batas minimum. Hal ini bisa dipahami karena saat mobil bergerak atau mesinnya menyala, arus listrik selalu diisi kembali oleh "Dynamo-Amper," sehingga baterai tidak pernah benar-benar kosong, meskipun digunakan untuk menyalakan lampu, AC, atau radio, selama "Dynamo-

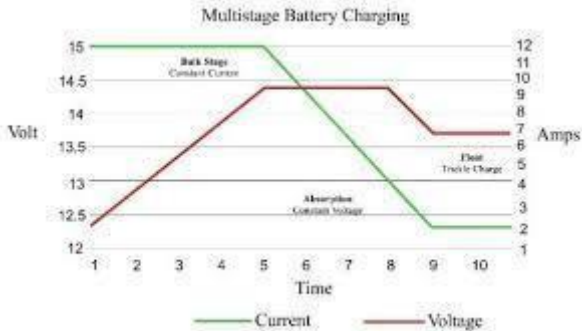
*Amper*” berfungsi dengan baik.

Pada sistem *fotovoltaik*, tidak terdapat "*dynamo-amper*" dan sumber energi hanya bergantung pada radiasi matahari. Jika baterai terus digunakan untuk menyuplai beban, terutama pada malam hari, hal ini akan membuat kapasitas baterai berangsur-angsur berkurang hingga kosong, apabila tidak ada pengisian ulang. Selain itu, jika beban yang digunakan cukup besar dan digunakan secara terus-menerus tanpa pembatasan, baterai akan menjadi habis. Kondisi ini dikenal sebagai "*under discharge*." Untuk mencegah terjadinya "*under discharge*," digunakan perangkat atau sistem kontrol elektronik pada SCC yang secara otomatis akan memutuskan atau menghentikan aliran arus listrik dari baterai.

### **2.9.1 Tipe tipe SCC atau Solar Control Charging**

#### **- PWM (*Pulse Width Modulation*)**

PWM adalah singkatan dari *Pulse Width Modulation*, yang menunjukkan bahwa pengontrol pengisian daya bekerja dengan mengirimkan pulsa listrik ke baterai (*accu*) dengan lebar pulsa yang bervariasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2,14. Pada akhirsetiap pulsa, pengontrol berhenti sejenak untuk mengukur kapasitas baterai dan menyesuaikan nilai keluaran agar sesuai. Secara prinsip, pengontrol muatan PWM berfungsi sebagai saklar cerdas. Arus yang mengalir ke baterai memiliki tegangan nominal yang dapat berkisar dari 11V ketika kosong hingga lebih dari 14V saat pengisian. Tugas utama *solar charge controller* adalah menurunkan tegangan 17-19V yang dihasilkan panel surya agar pengisian baterai berlangsung dengan aman. Solar charge controller PWM umumnya memiliki tiga tahap pengisian pada baterai (*accu*), yaitu: tahap *Bulk* (Massal), tahap *Absorption* (Penyerapan), dan tahap *Float* [5][13].



Gambar 2. 14 Tahapan Pengisian Daya Pada Solar Charge Controller PWM (Pulse Width Modulation)

Pada tahap pengisian daya Massal (*Bulk Stage*), pengontrol pengisian daya menghubungkan panel surya langsung ke baterai. Tegangan dari panel surya diturunkan agar sesuai dengan tegangan baterai, dan seluruh arus keluaran dari panel surya disalurkan ke baterai. Tahap ini berperan penting dalam pengisian baterai dan sering disebut sebagai tahap arus konstan. Saat pengisian berlangsung, tegangan baterai akan secara bertahap meningkat hingga mencapai 14,4V. Pada titik ini, baterai telah terisi sekitar 80%. Pengisian pada tegangan ini dengan arus



maksimal berpotensi merusak baterai, sehingga diperlukan tahap berikutnya, dan pengontrol muatan akan beralih ke tahap tersebut[12].

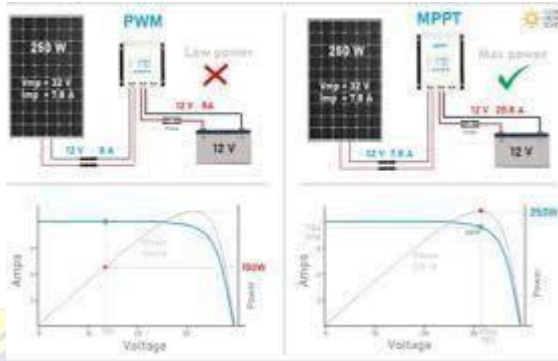


Gambar 2.15 SCC Jenis PWM

- MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

MPPT atau *Maximum Power Point Tracking* adalah algoritma dalam pengontrol daya yang berfungsi untuk mengoptimalkan daya maksimum yang dapat diperoleh dari modul PV sesuai dengan kondisi tertentu. MPPT merupakan konverter DC ke DC yang bekerja dengan mengambil input DC dari modul PV, mengonversinya menjadi AC, lalu mengubahnya kembali ke tegangan dan arus DC yang sesuai untuk menyesuaikan modul PV dengan kebutuhan baterai secara optimal. Tegangan di manamodul PV dapat menghasilkan daya tertinggi disebut sebagai titik daya maksimum (tegangan daya puncak). Daya maksimum ini berubah-ubah sesuai dengan intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, dan suhu sel surya mempengaruhi daya yang dihasilkan modul PV. Modul ini menghasilkan daya dengan tegangan maksimum sekitar 17 V pada suhu sel 25°C. Tegangan tersebut dapat turun hingga sekitar 15 V pada cuaca

panas dan meningkat hingga 18 V pada hari yang sangat dingin.



Gambar 2. 16 Perbandingan SCC Jenis PWM dan MPPT

## 2.10 Konfigurasi Panel Surya

Menentukan dan memperhitungkan *Solar Charge Controller* (SCC) pada sistem PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) bergantung pada beberapa faktor utama: tegangan sistem, daya keluaran panel surya, dan kapasitas baterai. Berikut adalah langkah- langkah dalam menentukan kapasitas SCC yang tepat[15]:

### 2.10.1 Menentukan tegangan sistem (*Voltage*)

Tegangan sistem PLTS biasanya 12V, 24V, atau 48V, tergantung pada ukuran sistem dan kebutuhan energi. SCC harus sesuai dengan tegangan baterai atau sistem.

### 2.10.2 Menghitung arus maksimum SCC

Arus yang dibutuhkan untuk SCC bisa dihitung berdasarkan spesifikasi daya (watt) dari panel surya dan tegangan sistem. Berikut perumusan menghitung arus maksimum SCC :

$$\text{Arus SCC (A)} = \frac{\text{Total Daya panel surya (W)}}{\text{Tegangan Sistem (V)}} \quad (2.8)$$

