

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Energi Surya

Indonesia salah satu negara tropis yang mempunyai energi surya yang tinggi. Dari data – data penyinaran matahari di Indonesia dapat dibagikan seperti untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m² perhari dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m² perhari. Maka dari itu, potensi matahari rata – rata Indonesia yaitu sebesar 4,8 kWh/m² perhari(Torina, 2020). Untuk mengetahui potensi energi surya pada suatu lokasi dapat dihitung dengan persamaan 2.1

$$\text{Potensi Energi Matahari} = \text{Luas Wilayah PLTS} \times \text{Nilai Irradiansi Matahari} \quad (2.1)$$

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling mudah didapat dan berlimpah jumlahnya, yang dalam beberapa waktu belakangan mulai meningkat pemanfaatannya. Energi surya merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang terdiri atas radiasi energi matahari dan energi photon. Energi surya hadir dalam bentuk panas dan cahaya, energi dalam bentuk panas dapat dipakai secara langsung maupun tidak langsung beberapa contoh dari pemakaian langsung adalah menghangatkan rumah, memasak, dan menyediakan air panas sedangkan contoh pemakaian tidak langsung adalah pembangkit listrik tenaga surya. Energi surya dalam bentuk radiasi dapat diubah secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi *photovoltaic* (PV), dengan perangkat yang sering disebut sel surya serta dengan sistem yang dinamakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pengukuran potensi energi matahari di

lokasi yang direncanakan untuk pemasangan sistem PLTS sangat diperlukan dan akan mempengaruhi keberhasilan implementasi sistem itu sendiri.(Marpaung et al., 2020)

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah sistem pembangkit tenaga listrik yang mengubah energi elektromagnetik menjadi energi listrik melalui konversi sel fotovoltaik. Sistem fotovoltaik mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (iradian) matahari yang masuk ke sel fotovoltaik, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya. Karena listrik seringkali dibutuhkan sepanjang hari, maka kelebihan daya listrik yang dihasilkan pada siang hari disimpan di dalam baterai sehingga dapat digunakan kapanpun untuk berbagai alat listrik. Sel surya terdiri dari lapisan-lapisan tipis dari bahan semi konduktor silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya(Gautama et al., 2021).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) mempunyai beberapa keuntungan yaitu: Sumber energi yang digunakan sangat melimpah dan cuma-cuma, sistem yang dikembangkan bersifat modular sehingga dapat dengan mudah diinstalasi dan diperbesar kapasitasnya, perawatannya mudah, tidak menimbulkan polusi, dirancang bekerja secara otomatis sehingga dapat diterapkan ditempat terpencil, relative aman, keandalannya semakin baik, adanya aspek masyarakat pemakai yang mengendalikan sistem itu sendiri, mudah untuk diinstalasi, radiasi matahari sebagai sumber energi tak terbatas, tidak menghasilkan CO₂ serta emisi gas buang lainnya(Erlina & Azzahra, 2020).

2.2.1 Konfigurasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu pembangkit yang mudah untuk diaplikasikan dalam memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari terutama di Indonesia yang memiliki intensitas matahari yang banyak. Selain itu juga sistem pembangkit listrik tenaga surya dapat digunakan dengan 2 cara yakni (Musfita et al., 2020) :

1. Penggunaan langsung, dimana daya listrik panel surya dimanfaatkan langsung oleh beban, baik untuk peralatan DC, seperti lampu dan pompa air, ataupun peralatan AC seperti lemari pendingin ataupun televisi.
2. Penggunaan dengan bank penyimpanan, yaitu berupa baterai. Dalam hal ini, energi yang dihasilkan terlebih dahulu disimpan, agar dapat digunakan sewaktu-waktu bahkan dalam kondisi tidak ada matahari sekalipun.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya sudah banyak digunakan di Indonesia, kemudahan dalam pemasangannya menjadi salah satu solusi alternatif yang dapat digunakan di daerah terpencil. Pengaplikasian sistem PLTS juga dapat dibagi menjadi 2 cara yaitu :

1. Sistem PLTS On-Grid

Sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi fotovoltaik untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Didesain untuk interkoneksi dengan jaringan tenaga listrik yang ada dengan jumlah kapasitas yang jauh lebih kecil dibandingkan beban sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu berapapun

daya yang dihasilkan akan langsung dimasukkan ke sistem kelistrikan sehingga umumnya PLTS On-Grid didesain tanpa baterai dan hanya menyuplai daya di siang hari.

Komponen utama dalam sistem PLTS On-grid adalah inverter yang terintegrasi dengan Power Conditioning Unit (PCU). Inverter berfungsi untuk mengubah listrik DC yang dibangkitkan oleh Array PV kedalam bentuk listrik AC sesuai dengan tegangan dan power quality yang disyaratkan oleh Jaringan. Sistem ini otomatis berhenti menyuplai daya ke jaringan ketika fasilitas jaringan tenaga listrik tidak beroperasi (Musfita et al., 2020)

2. Sistem PLTS Off-Grid

Sistem PLTS Off-grid merupakan sistem pembangkit listrik yang tidak perlu terkoneksi dengan PLN dan diterapkan di daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN seperti PLTS Sistem terpusat. Sistem terpusat ini juga merupakan sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu satunya energi utama dengan menggunakan rangkaian fotovoltaik untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan.

Dalam penerapannya komponen yang digunakan pada PLTS Off-grid biasanya : Modul Surya, Solar Charger Controller (SCC), Baterai, dan Inverter yang digunakan untuk sistem PLTS Off-grid (Musfita et al., 2020).

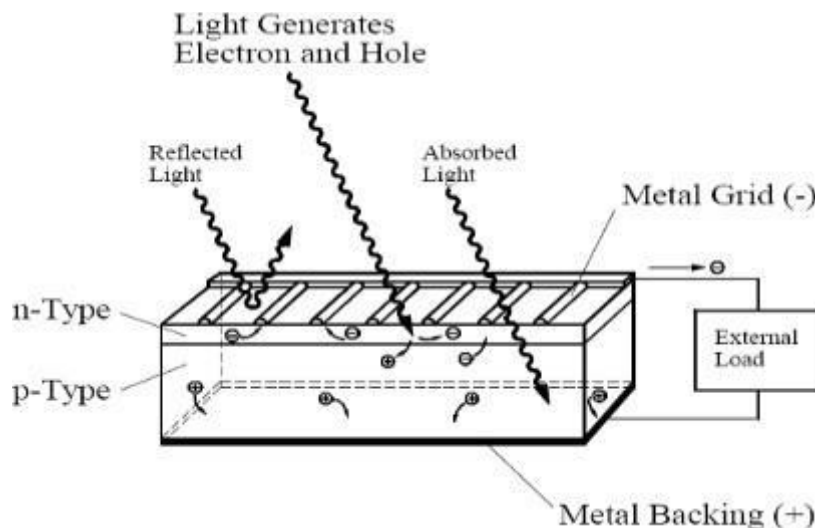
2.3 Prinsip Kerja Panel Surya

Menggunakan lapisan tipis silicon murni (Si) atau bahan semikonduktor lainnya dapat mengubah energi matahari menjadi arus searah. Silikon merupakan

bahan yang banyak digunakan karena merupakan unsur yang banyak ditemukan di alam. Silikon adalah semikonduktor yang sangat dikenal memiliki sifat logam dan non-logam. Untuk digunakan sebagai semikonduktor, silicon harus dimurnikan hingga kemurnian tertinggi.

Bahan semikonduktor yang disimpan di bawah sinar matahari akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang disebut efek fotolistrik. Efek ini adalah electron dilepaskan dari permukaan logam akibat tumbukan cahaya. Efek ini adalah proses fisik dasar dimana fotovoltaiik mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sinar matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut foton yang memiliki banyak energi, yang besarnya bergantung pada panjang gelombang spektrum. Ketika foton-foton ini mengenai sel surya, cahayanya akan dipantulkan atau diserap, atau mungkin saja dipancarkan. Cahaya yang diserap akan menghasilkan listrik.

Saat tumbukan itu terjadi, energi yang dibawa oleh foton disalurkan pada elektron yang terdapat pada atom sel surya. Energi yang didapat dari foton, membuat elektron memisahkan diri dari ikatan normalnya dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik. Pelepasan ikatan itu, mengakibatkan terbentuknya lubang atau "*hole*".

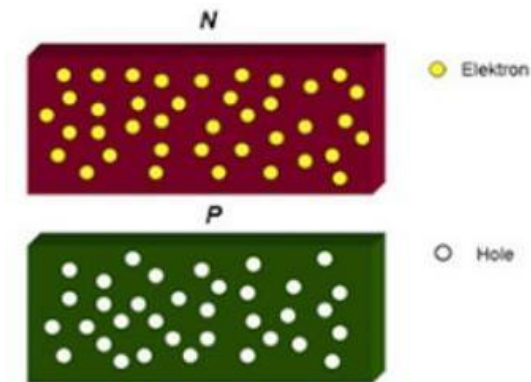


Gambar 2. 1 Konversi Cahaya Matahari

(Sumber : <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

Gambar 2.1 Menggambarkan bagaimana proses konversi energi matahari menjadi energi listrik, Karena bahan penyusun solar cell adalah semikonduktor yang terdiri dari dua jenis semikonduktor tipe-n dan tipe-p, maka proses pengubahan sinar matahari menjadi energi listrik dimungkinkan. Semikonduktor tipe-n adalah semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan elektronnya adalah negative (n = negatif). Semikonduktor tipe p memiliki lubang berlebih, sehingga disebut p (p = positif) karena kelebihan muatan positif. Dengan menambahkan elemen lain ke semikonduktor, bagaimana mengontrol jenis konduktor.

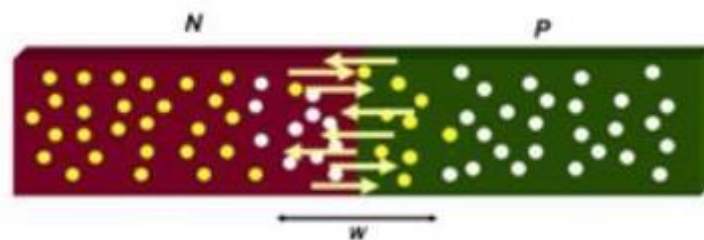
Dua jenis semikonduktor n dan p ini disatukan akan membentuk sambungan p-n atau diode p-n (sambungan metalurgi) yang dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Semikonduktor P dan N

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

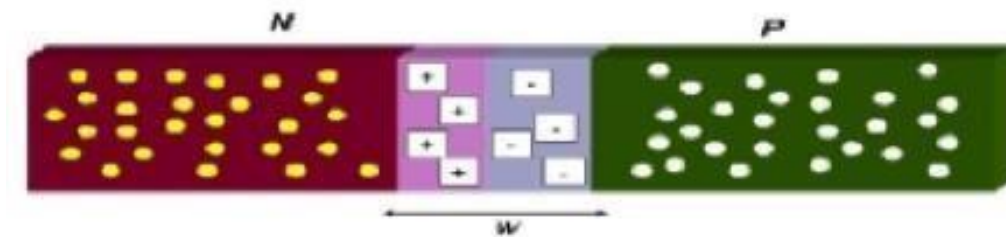
Gambar 2.2 memperlihatkan ilustrasi awal dari electron p dan n sebelum terjadi konversi dalam Photovoltaic mengubah energi matahari menjadi energi listrik.



Gambar 2. 3 Gerakan Elektron dalam Panel surya

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

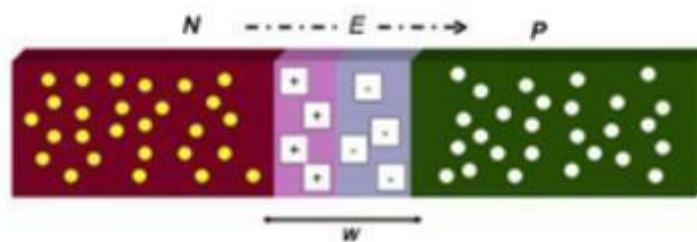
Gambar 2.3 memperlihatkan kedua jenis semikonduktor ini dihubungkan bersama, elektron akan ditransfer dari semikonduktor n ke semikonduktor p, dan lubang akan ditransfer dari semikonduktor p ke semikonduktor n. Perpindahan elektron dan lubang ini hanya berjarak tertentu dari batas sambungan awal.



Gambar 2. 4 Daerah Deplesi dalam Panel Surya

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

Gambar 2.4 memperlihatkan daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah Deplesi yang ditandai dengan huruf W. Pada daerah deplesi ini terdapat banyak kedaan terisi (hole+elektron).

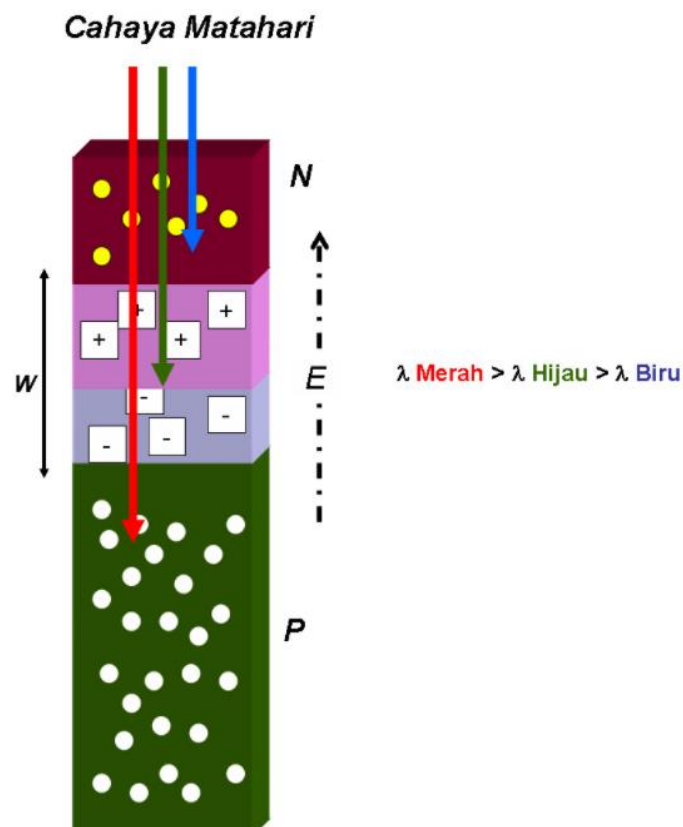


Gambar 2. 5 Timbulnya medan listrik

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

Gambar 2.5 menjelaskan mengenai elektron dan lubang di daerah penipisan disebut pembawa muatan minoritas karena mereka ada di berbagai jenis semikonduktor. Karena perbedaan antara muatan positif dan negatif di zona penipisan, medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif dihasilkan, yang mencoba menarik lubang kembali ke semikonduktor p dan elektron kembali ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan lubang dan elektron di awal zona deplesi.

Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi seperti pada gambar 2.2.



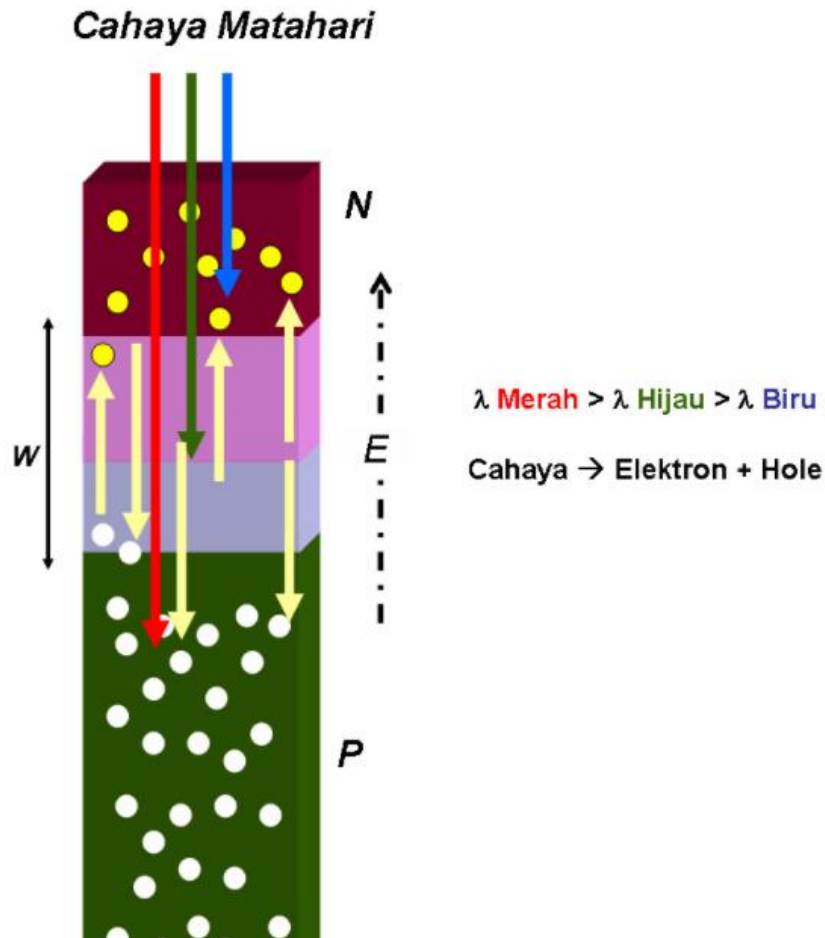
Gambar 2. 6 Posisi Elektron dan hole pada panel surya

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

Gambar 2.6 menggambarkan bagaimana proses konversi cahaya menjadi energi listrik dengan Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan p dan n berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali

kearah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E. Dengan kata lain, medan listrik E mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain. Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi.

Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap kearah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



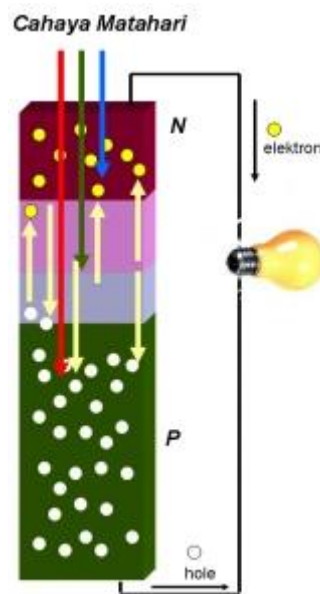
Gambar 2. 7 Proses Konversi Cahaya Matahari menjadi Energi Listrik

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

Gambar 2.7 menggambarkan bagaimana perpindahan electron dan hole ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (electron-hole photogeneration) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lambda” sebagaimana gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula.

Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

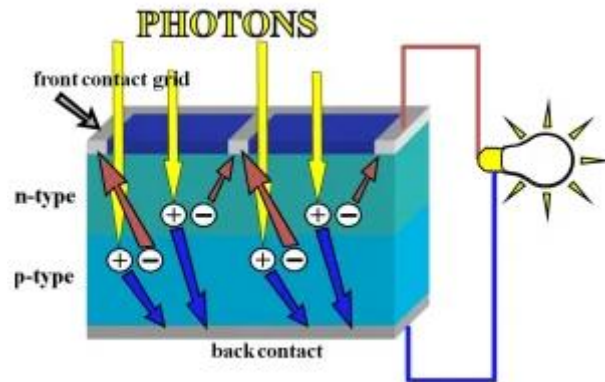


Gambar 2. 8 Hasil Konversi Matahari Ke Energi Listrik

(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

Gambar 2.8 menggambarkan hasil dari proses konversi matahari menjadi energy listrik yang dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



Gambar 2. 9 Gambaran Umum Proses konversi cahaya matahari ke energi listrik
(Sumber: <https://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-selsurya-lebih-dekat/>)

Gambar 2.9 merupakan gambaran umum bagaimana proses terjadinya konversi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menunjukkan electron dan hole yang bergerak naik dan turun sehingga menghasilkan gelombang elektro magnetic yang menghasilkan listrik.

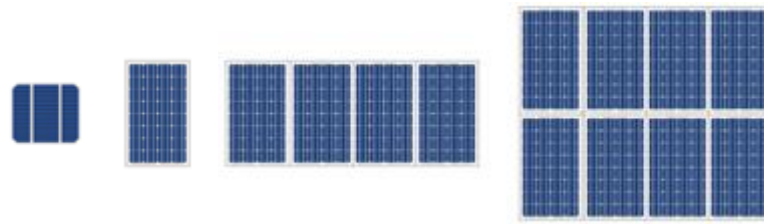
2.4 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya sendiri terdiri dari beberapa komponen yakni Panel Surya, Inverter, dan Baterai yang menunjang sistem PLTS baik yang digunakan secara On-grid, Off-Grid dengan Pembangkit yang lainnya berikut merupakan komponen yang digunakan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

2.4.1 Panel Surya

Panel surya berisi serangkaian sel surya yang ada pada *Photo-diode* yang besar dan dapat menghasilkan daya listrik. Photovoltaic atau Panel

Surya terdiri dari dua jenis bahan semikonduktor yang berbeda yang disambungkan melalui suatu junction, kemudian jika terkena sinar matahari pada permukaannya akan diubah menjadi energi listrik. Untuk mendapatkan daya yang efisien dan banyak, maka sel surya tersebut disusun menjadi panel yang dinamakan panel surya.



Gambar 2. 10 Hierarki Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Gambar 2.10 menggambarkan urutan istilah dalam panel surya mulai dari paling kiri yang disebut sebagai sel dalam panel surya yang memiliki tegangan output 0,5 Volt DC, kemudian dari sel dirangkai dengan seri menjadi sebuah modul atau panel surya yang memiliki keluaran yang beragam, setelah itu panel yang sudah disusun secara lurus dengan rangkaian seri disebut menjadi String atau baris yang dipasang tergantung dengan besaran Solar Charge Controller (SCC) atau Inverter Jaringan yang digunakan, yang terakhir merupakan Array yang biasa disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang dirangkai secara paralel.

Panel surya juga memiliki beberapa jenis berdasarkan bahan dan teknologi yang digunakan yaitu :

1. Monocrystalline



Gambar 2. 11 Panel Surya Jenis Monocrystalline

(Sumber : <https://www.rekasurya.com/produk/>)

Gambar 2.11 merupakan gambar dari panel surya jenis Monocrystalline atau sel surya kristal tunggal dibuat dari silicon kristal tunggal melalui proses yang disebut Czochralski atau pemurnian bahan dilakukan dengan proses kristalisasi. Dalam proses pembuatannya, kristal silicon dipotong dari ukuran besar menjadi potongan kristal silicon tipis. Produksi kristal tunggal ini memerlukan perlakuan yang tepat sebagai proses “rekristalisasi”, yang membuat sel surya jenis ini lebih mahal dan memerlukan berbagai perlakuan. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah apabila disusun menjadi panel surya, bentuk bulat atau octagonal tergantung dari bentuk batang kristal silikonnya sehingga ada yang kosong. Untuk efisiensinya sendiri panel surya jenis Monocrystalline berkisar antara 17-18%

2. Polycrystalline



Gambar 2. 12 Panel Surya Jenis Polycrystalline

(Sumber : <https://www.rekasurya.com/produk/>)

Gambar 2.12 merupakan gambar dari panel surya jenis *Polycrystalline* atau silicon polikristalin, panel surya jenis ini biasanya terdiri dari banyak kristal yang berbeda yang digabungkan satu sama lain dalam satu sel. Teknologi pemrosesan sel surya polikristalin yang lebih ekonomis diproduksi melalui proses metalurgi tingkat silicon dengan pemurnian kimia. Kemudian silicon mentah dicairkan, setelah itu dituang kedalam cetakan persegi, didinginkan dan dipotong menjadi wafer persegi. Panel surya jenis ini merupakan panel yang paling banyak digunakan selain karena biaya produksi yang lebih murah tingkat efisiensinya juga berkisar 12-14%

3. Thin Film Solar Cell



Gambar 2. 13 Panel Surya Jenis Thin Film

(Sumber : http://topdiysolarpanels.com/3rd-generation-of-solar-panels-thinfilm/)

Gambar 2.13 merupakan gambar panel surya jenis *Thin Film*, Kebanyakan sel suryafilm tipis dan amorfous adalah sel surya generasi kedua, dan lebih ekonomis daripada sel surya wafer silikon generasi pertama. Lapisan penyerapan cahaya maksimum sel wafer silikon adalah 350 μ m, sedangkan lapisan penyerapan cahaya sel surya film tipis sangat tipis, biasanya 1 μ m. Inovasi terbaru dari film tipis adalah film tipis PV tiga node, yang memiliki efisiensi lebih tinggi ketika listrik yang dihasilkan oleh udara mendung 45% lebih tinggi daripada panel lain dengan daya yang sama. Berdasarkan bahan tersebut, sel surya film tipis dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu silikon amorf (a-Si), kadmiuzxm telurida (CdTe) dan tembaga indium gallium selenium (CIGS) (Gautama et al., 2021).

2.4.2 *Solar Charge Controller (SCC)*

Solar Charge Controller (SCC) atau juga dikenal sebagai Battery Charge Regulator (BCR) adalah komponen elektronik daya di PLTS untuk mengatur pengisian baterai dengan menggunakan modul fotovoltaik

menjadi lebih optimal. Perangkat ini beroperasi dengan cara mengatur tegangan dan arus pengisian berdasarkan daya yang tersedia dari Photovoltaic String dan status pengisian baterai atau State Of Charge (SOC). Untuk mencapai arus pengisian yang lebih tinggi, beberapa SCC dapat dipasang secara paralel di bank baterai yang sama dan menggabungkan daya dari Photovoltaic String (Ramadhani, 2018) Adapun fungsi dari Solar Charge Controller sebagai berikut :

1. Menyesuaikan tegangan keluaran dari Photovoltaic sebelum masuk ke baterai.
2. Melindungi bank baterai dari pengisian yang berlebih dengan mengurangi arus pengisian dari Photovoltaic String disaat baterai sudah penuh tergantung pada teknologi baterai, pengisian baterai yang berlebihan (Overcharge) dapat menyebabkan timbulnya gas dan ledakan.
3. Memaksimalkan transfer daya dari Photovoltaic String ke baterai dengan menggunakan algoritma Maximum Power Point Tracker (MPPT).
4. Memblokir arus balik dari bank baterai disaat radiasi sinar matahari tidak mencukupi atau di malam hari.
5. Mengukur dan melakukan monitoring tegangan, arus, dan energi yang ditangkap dari Photovoltaic String dan mengirimkannya ke bank baterai.

Dalam menentukan Solar Charge Controller (SCC) yang ideal diperlukan pertimbangan dari temperature modul fotovoltaik, temperature

modul fotovoltaik yang kurang dari 25°C akan menaikkan tegangan keluaran modul, sementara temperature yang lebih tinggi akan menaikkan arus keluarannya.

2.4.3 Battery

Baterai merupakan komponen yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari panel surya sehingga dapat digunakan untuk memberikan beban pada saat dibutuhkan. Setiap baterai memiliki terminal positif (Katoda) dan terminal Negatif (Anoda) serta elektrolit yang berfungsi sebagai konduktor. Output yang dihasilkan baterai dalam bentuk arus searah (DC). Secara umum ada dua jenis baterai yang hanya dapat digunakan satu kali dalam satu waktu (sekali pakai) dan baterai sekunder (dapat diisi ulang) yang digunakan lebih dari dua kali. Untuk baterai yang digunakan di PLTS merupakan baterai sekunder yang dapat diisi ulang karena dapat diisi jika daya habis (Windarta et al., 2019).

Selain itu, baterai juga dapat berperan sebagai buffer untuk menjaga kestabilan sistem akibat efek fluktuatif dari daya yang dihasilkan oleh PV. Selain berfungsi sebagai buffer, baterai juga berfungsi sebagai penyimpanan energi untuk digunakan pada saat terjadi defisit pembangkitan. Dalam pemilihan jenis baterai sendiri terdapat beberapa karakteristik yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Memiliki life time tinggi, yang ditunjukkan dari nilai Cycle yang tinggi.
2. Memiliki Depth of Discharge (DoD) > 80%.
3. Memiliki kemampuan discharge dalam waktu singkat.
4. Memiliki kapasitas penyimpanan yang besar.

2.4.4 Inverter

Inverter adalah perangkat listrik yang terhubung ke sistem PLTS untuk mengubah arus searah dari panel surya menjadi arus bolak-balik yang dapat dimasukkan ke dalam jaringan. Ada juga inverter yang menyertakan konversi DC-DC untuk mengubah tegangan keluaran hasil Panel Surya menjadi tegangan konstan untuk mengisi baterai (WANDADAYA et al., 2020). Inverter biasanya dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Inverter Jaringan

Inverter jaringan atau dikenal juga sebagai inverter PV atau grid inverter adalah komponen elektronik daya yang mengonversi tegangan DC dari larik modul fotovoltaik menjadi tegangan AC baik untuk pemakaian langsung atau untuk menyimpan kelebihan daya ke dalam baterai. Serupa dengan solar charge controller (SCC), perangkat ini juga dilengkapi dengan MPPT (maximum power point tracker) untuk mengoptimalkan daya yang ditangkap dari larik modul fotovoltaik.

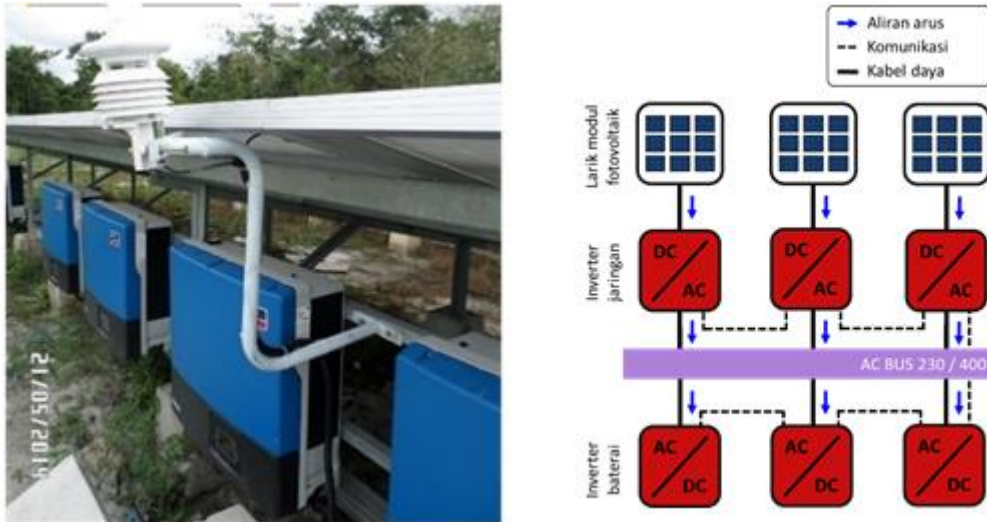
Karena inverter ini tidak dapat beroperasi tanpa tegangan dan frekuensi jaringan, inverter baterai harus tetap dalam kondisi operasional dan menjaga bank baterai tetap pada state of charge baterai yang ditetapkan. Pada kasus khusus dimana tersedia tegangan jaringan, inverter akan melakukan sinkronisasi dengan tegangan dan frekuensi jaringan agar dapat bergabung dengan jaringan tersebut dan mengirimkan daya yang telah dikonversi ke jaringan AC (Ramadhani, 2018). Selain itu juga inverter jaringan memiliki fungsi antara lain :

- a. Anti-islanding atau mematikan otomatis inverter dari jaringan ketika jaringan listrik tidak tersedia untuk memberikan keamanan terhadap jaringan.
- b. Memaksimalkan transfer daya dari larik modul fotovoltaik ke baterai dengan menggunakan algoritma MPPT.

Dalam melakukan setting Inverter Jaringan juga perlu diperhatikan parameter nya(Ramadhani, 2018) antara lain:

- a. **Country data set** untuk menyesuaikan parameter ke jaringan yang dikehendaki. Untuk sistemnya yang stand alone, pilih mode off-grid atau Island Grid.
- b. **Frekuensi dasar** adalah frekuensi jaringan off-grid yaitu 50 Hz.
- c. **Tegangan AC minimum** adalah tegangan minimum sistem untuk beroperasi. Nilainya tergantung pada kisaran inverter baterai.
- d. **Tegangan AC maksimum** adalah tegangan maksimum sistem untuk beroperasi.
- e. **Frekuensi AC minimum** adalah frekuensi minimum sistem untuk beroperasi. Umumnya, frekuensi ini didefinisikan dalam persentase dari frekuensi dasar (50 Hz).
- f. **Frekuensi AC maksimum** adalah frekuensi maksimum sistem untuk beroperasi.
- g. **Start power control frequency** adalah titik di mana kontrol daya droop frekuensi mulai bekerja.

- h. Maximum power control frequency adalah** batas maksimum frekuensi untuk mengendalikan daya keluaran. Daya inverter jaringan pada frekuensi ini harus bernilai nol.



Gambar 2. 14 Skema pemasangan Inverter Jaringan

Pada gambar 2.14 menjelaskan mengenai skema pemasangan Inverter Jaringan yang biasa digunakan, pada gambar tersebut terlihat ketika larik modul fotovoltaik mengeluarkan daya kemudian dia masuk ke inverter jaringan untuk diteruskan ke busbar AC setelah itu masuk ke inverter baterai untuk disimpan ke baterai selain itu juga keluaran dari inverter jaringan juga ada yang masuk ke beban.

2. Inverter Baterai

Inverter baterai atau juga dikenal sebagai inverter yang berdiri sendiri (stand-alone) adalah otak dari sistem PLTS off-grid berbasis komunal. Inverter baterai bertugas untuk membentuk jaringan distribusi AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi dalam batas yang diijinkan dan menjaga keseimbangan energi di dalam jaringan. Inverter baterai biasanya dapat digunakan secara dua arah (bidirectional) atau satu arah (unidirectional)

tergantung pada konfigurasi dari sistem. Dalam sistem penyambungan AC-coupling, inverter baterai berfungsi sebagai inverter (pengubah tegangan DC-AC) serta charger (pengubah tegangan AC-DC). Jika terdapat kelebihan energi dari modul fotovoltaik dan baterai tidak terisi penuh, inverter baterai bertindak sebagai charger. Dan jika terdapat kekurangan energi dan baterai masih memiliki energi yang tersisa, baterai akan mengeluarkan daya untuk memenuhi permintaan melalui inverter.

Beberapa inverter baterai dapat ditingkatkan dayanya atau diinterkoneksi secara modular untuk mencapai keluaran (output) yang lebih besar. Inverter baterai dapat dikonfigurasi secara paralel sebagai klaster tunggal (single-cluster) dalam konfigurasi satu fasa atau tiga fasa serta beberapa klaster (multi-cluster) dengan panel distribusi tambahan. Dalam konfigurasi multi-cluster, jika satu klaster tambahan bermasalah, yang lainnya masih dapat beroperasi (Ramadhani, 2018).

Inverter baterai memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Mengubah tegangan DC dari bank baterai (48 VDC) ke jaringan listrik AC 230 VAC
2. Melindungi bank baterai dari pengisian yang berlebihan dengan mengurangi arus pengisian (charging) ketika baterai sudah penuh. Pengisian baterai yang berlebihan dapat menyebabkan timbulnya gas atau ledakan, tergantung pada teknologi baterai.
3. Melindungi bank baterai dari terkurasnya energi secara berlebih (deeply discharged) dengan cara menghentikan keluaran ketika kondisi penyimpanan energi pada baterai (state of charge) turun di bawah batas

minimum. Karena inverter baterai membutuhkan baterai untuk dapat beroperasi, terkurasnya daya baterai secara berlebihan dapat menyebabkan tidak beroperasinya inverter baterai atau terhentinya pasokan daya listrik ke jaringan.

4. Memantau tegangan dan arus pengisian serta tegangan dan arus pelepasan (discharging) dan energi ke dan dari bank baterai serta tegangan dan arus keluaran AC
5. Saklar pemindah secara otomatis (automatic transfer switch) di saat inverter baterai terhubung ke sumber daya lain seperti jaringan listrik eksternal atau pembangkit listrik eksternal. Jaringan listrik eksternal atau pembangkit listrik eksternal dapat digunakan sebagai cadangan ketika kondisi penyimpanan daya baterai sedang rendah.

Parameter yang perlu diperhatikan dalam pemasangan inverter baterai :

1. Konfigurasi dasar

- a. **Jenis perangkat** untuk mengidentifikasi master dan slave
- b. **Moda operasi** harus diatur ke moda berdiri sendiri (stand alone) atau off-grid
- c. **Jenis baterai** dapat dipilih antara teknologi baterai lead acid (valve regulated atau flooded) atau jenis lain seperti lithium-ion. Spesifikasi baterai OPzV adalah baterai jenis valve regulated lead acid (VRLA).
- d. **Tegangan nominal baterai**, yang biasanya ditetapkan pada 48 V DC. Tegangan baterai harus berada dalam kisaran tegangan nominal baterai.

- e. **Kapasitas nominal baterai bank dalam Ah (Ampere-hour)** berdasarkan kapasitas C10 bank baterai. Jumlahkan kapasitas bank baterai jika beberapa rangkaian terhubung secara paralel.
 - f. **Tegangan dan frekuensi** jaringan distribusi diatur di 230 VAC dan 50 Hz.
 - g. **Jumlah konduktor di jaringan** untuk satu fasa maupun tiga fasa.
 - h. **Klaster tunggal atau *multi-cluster*** untuk menentukan konfigurasi sistem.
 - i. **Jenis klaster** yakni klaster utama (main cluster) atau klaster tambahan (extension cluster)
 - j. **Alamat klaster dan jenis panel distribusi** untuk mengidentifikasi alamat klaster tambahan dan panel distribusi multi-cluster yang digunakan
 - k. **Sumber energi yang terhubung** seperti modul fotovoltaik yang dilengkapi dengan inverter jaringan, generator, atau jaringan listrik eksternal
- 2. Konfigurasi tambahan untuk keluaran arus bertegangan AC hanya dilakukan di master**
- a. **Tegangan dan frekuensi AC** nominal dari jaringan yang berdiri sendiri dengan nilai 230 V / 50 Hz
 - b. **Fungsi frequency drop** adalah untuk mengatur perubahan frekuensi per kW
 - c. **Tegangan minimum dan maksimum inverter** adalah rentang operasi tegangan AC inverter

d. **Frekuensi minimum dan maksimum inverter** adalah rentang operasi frekuensi inverter

3. Konfigurasi tambahan untuk konfigurasi baterai hanya dilakukan di sisi master

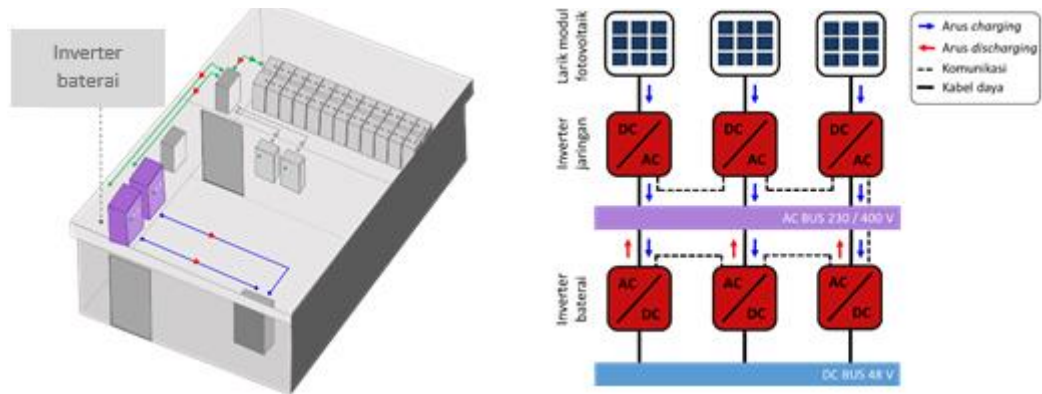
a. **Pemutusan arus tegangan rendah** adalah batas pemutus (cut-off) dari tegangan baterai di mana inverter harus berhenti beroperasi

b. **Batas arus pengisian** menentukan arus keluaran yang dapat diterima untuk mengisi (charge) baterai. Nilai ini biasanya tergantung pada besarnya arus pengisian maksimum yang dapat diterapkan ke baterai.

c. **Siklus pengisian (*charge cycle*)** adalah proses pengisian tiga tahap atau dua tahap tanpa adanya tegangan float. Siklus tiga tahap terdiri dari tahap bulk atau tahap arus konstan, tahap absorption atau tahap tegangan konstan, dan tahap float.

d. **Pengaturan tegangan pengisian** untuk memastikan pengisian baterai yang tepat. Untuk nilai yang direkomendasikan untuk pengaturan tegangan. Tegangan yang direkomendasikan untuk baterai lead acid OPzV adalah 2,35 - 2,4 V untuk tahap bulk dan absorption, dan 2,25 - 2,3 V untuk float atau konsultasikan dengan produsen baterai untuk batas yang diperbolehkan.

e. **Kompensasi temperature baterai** adalah penyesuaian yang dibutuhkan per kenaikan temperatur yang ditetapkan dalam mV per °C.



Gambar 2. 15 Skema pemasangan Inverter Baterai

Gambar 2.15 menggambarkan skema pemasangan inverter baterai pada skema tersebut dapat dilihat inverter baterai mendapat input dari inverter jaringan yang kemudian di konversikan untuk diteruskan ke busbar DC 48 V untuk mengisi baterai.

2.5 Komponen Pendukung Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.5.1 Struktur Panel Surya



Gambar 2. 16 Struktur Panel Surya

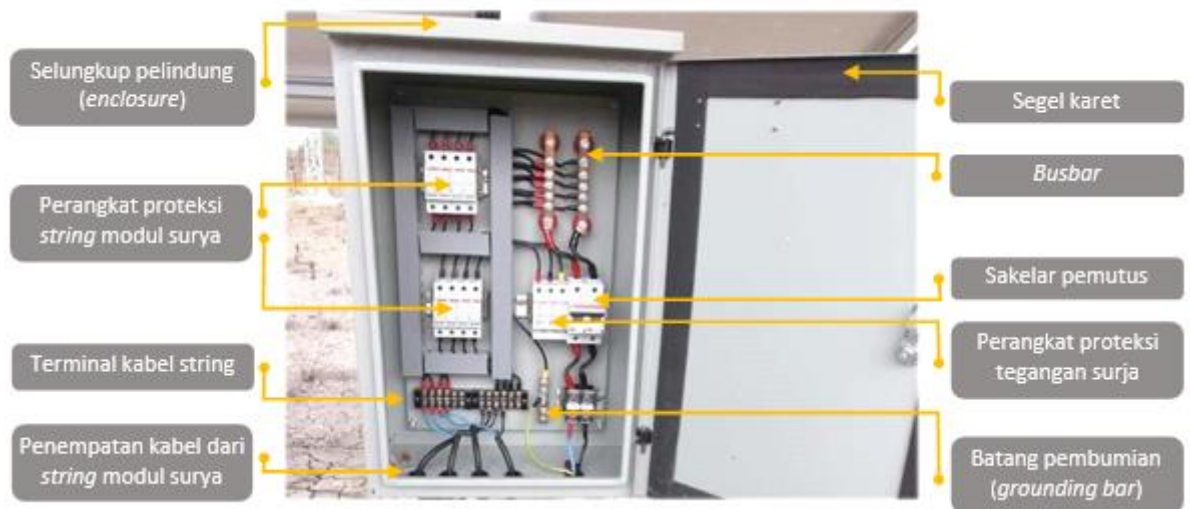
(Sumber: <https://www.builder.id/panduan-memilih-panel-surya/> , Diakses pada 20 September 2021)

Pada Gambar 2.16 dijelaskan mengenai Struktur yang terdapat pada panel surya yang diantaranya :

- a. **Bingkai atau *frame*** biasanya terbuat dari alumunium Anodized untuk menghindari korosi oleh karena pemasangan bingkai dilakukan di akhir proses pembuatan, bingkai memiliki fungsi untuk memastikan kekokohan panel surya.
- b. ***Glass Cover* atau Bingkai Kaca** yang berfungsi untuk melindungi sel surya dari lingkungan dan memastikan kekokohan panel. Karena fungsinya tersebut, kaca pelindung mengambil proporsi tertinggi dari total berat modul panel surya.
- c. **Enkapsulasi atau Laminasi** adalah lapisan antara sel surya dan kaca pelindung. Laminasi digunakan untuk mencegah kerusakan mekanis pada sel surya dan mengisolasi tegangan dari sel surya dengan bagian modul lainnya. Biasanya lembaran laminasi menggunakan bahan *ethylene-vinyl acetate* (EVA).
- d. **Sel Surya** merupakan komponen utama dari Panel Surya. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel-sel saling terhubung secara seri untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi melalui kawat busbar. Bahan yang digunakan untuk sel surya umumnya adalah Silikon, seperti *Polycrystalline* dan *Monocrystalline*.
- e. **Lembar Insulasi (*Backsheet*)** terbuat dari bahan plastic untuk melindungi dan secara elektrik mengisolasi sel-sel dari kelembaban dan cuaca.

- f. **Kotak penghubung (*Junction Box*)** digunakan sebagai terminal penghubung antara serangkaian sel surya ke beban atau ke panel lainnya. Perangkat ini berisi kawat busbar dari rangkaian sel surya, kabel dan *Bypass Diode*.

2.5.2 Combiner Box



Gambar 2. 17 Combiner Box

Pada gambar 2.17 dijelaskan mengenai isi Combiner Box dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang merupakan sistem proteksi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya meliputi beberapa komponen antara lain:

- a. **Perangkat proteksi string panel surya** digunakan untuk melindungi individual *string* modul surya terhadap arus berlebih. Untuk tujuan ini biasanya digunakan sekering atau MCB
- b. ***Busbar*** adalah titik sambungan untuk beberapa *String* modul surya. Perangkat ini membawa beberapa *String* ke konduktor yang sama. *Busbar* DC terbuat dari konduktor tembaga pada dan berlapis timah untuk perlindungan terhadap korosi.

- c. **Sakelar pemutus** memungkinkan kotak penggabung terputus secara aman dari *Solar Charge Controller* atau inverter jaringan saat pemeliharaan dilakukan.
- d. **Perangkat proteksi tenaga surja (*Surge Protection Device*)** digunakan sebagai pengaman terhadap tegangan surja akibat sambaran petir. Perangkat ini dihubungkan ke kutub positif bus DC, kutub negative bus DC dan pembumian
- e. **Selungkup pelindung (*Enclosure*)** merupakan rumah dari komponen listrik dengan fungsi untuk melindungi komponen dari paparan langsung terhadap lingkungan dan mencegah gangguan dari luar.
- f. **Batang pembumian (*Grounding Bar*)** memberi sambungan pembumian untuk selungkup pelindung (jika kotak logam digunakan) dan untuk menyalurkan surja ke pembumian dengan menggunakan perangkat proteksi tegangan surja.

2.5.3 Pondasi Panel Surya

Dalam pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya perlu diperhatikan juga struktur atau pondasi yang digunakan agar Pembangkit Listrik Tenaga Surya kokoh dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama untuk melakukan itu perlu adanya identifikasi lokasi yang tepat serta memperoleh informasi rinci mengenai jenis tanah, topografi tanah, luas lahan, kondisi iklim setempat, dan sudut kemiringan yang dibutuhkan.



Gambar 2. 18 Ukuran pondasi yang disarankan

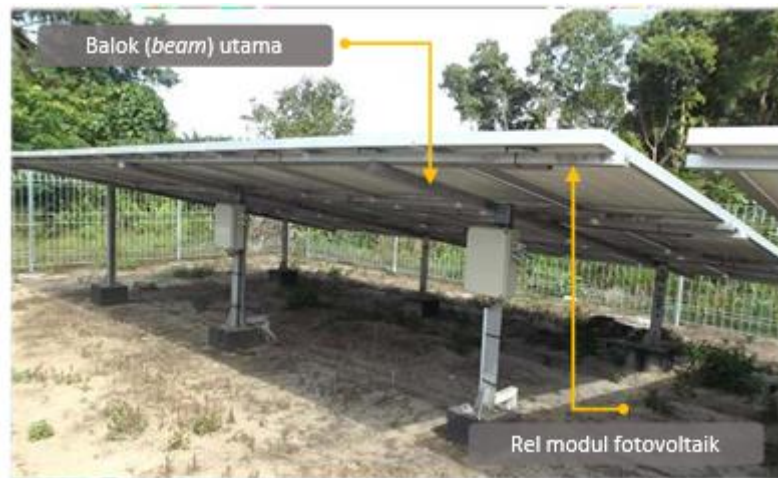
Pada gambar 2.18 dijelaskan mengenai ukuran pondasi yang disarankan untuk pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya dibuat dengan minimal kedalaman 40 Cm dan diatas tanah minimal 20 Cm kemudian untuk ukuran pemasangan plat diperlukan 10 Cm jarak dari tepi pondasi dan lebar pondasi itu minimal 35 Cm dan Panjangnya minimal 20 Cm semua itu perlu diperhatikan untuk menjaga struktur pondasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya agar tetap kokoh.

2.5.4 Penopang Modul surya

Penopang modul digunakan untuk memasang modul surya ke struktur penopang. Penopang modul harus kuat dan modul surya harus dipasang dengan benar untuk mencegah kerusakan akibat tertiuip angin, dalam pemilihan bahan juga perlu diperhatikan karena takutnya tiang penopang mengalami korosi sehingga dapat mempengaruhi kekokohan struktur tiang penopang.

Dalam pemasangan tiang penopang untuk mencegah korosi galvanic antara bingkai (*frame*) alumunium dan struktur pendukung perlu dilakukan pemisahan menggunakan PVC atau ring plat yang terbuat dari baja anti

karat serta semua bahan harus bersifat non-korosif seperti aluminium atau baja anti-karat.



Gambar 2. 19 Contoh Pemasangan Modul Surya

Pada gambar 2.19 terlihat contoh bentuk pemasangan penopang modul surya yang direkomendasikan karena tinggi pondasi yang sama, sudut kemiringan yang sama serta terlihat tiang penopang yang kokoh.

2.5.5 Klem Panel Surya

Dalam pemasangan panel surya juga perlu diperhatikan beberapa aspek agar panel kokoh, untuk melindungi permukaan rangka dari kerusakan dapat menggunakan pelindung rangka dari PVC di dalam Rel.



Gambar 2. 20 Contoh Klem Tengah

Pada gambar 2.20 diperlihatkan contoh penggunaan klem tengah untuk menjaga kestabilan panel surya Ketika sudah terpasangan pada rel penopang panel surya. Penggunaan klem seperti ini dilakukan agar tidak menimbulkan shadow pada panel surya yang dapat mengakibatkan bayangan pada panel yang akan mengurangi kinerja dari panel tersebut.



Gambar 2. 21 Contoh Klem Ujung

Pada gambar 2.21 diperlihatkan contoh penggunaan klem ujung untuk menjaga kekokohan keseluruhan rangkaian panel surya biasanya dipasang ujung pada akhir *string*.

2.6 Sistem Proteksi Panel Surya

2.6.1 Proteksi Arus Balik dari Panel Surya

Arus balik pada *String* panel surya akan muncul jika terjadi kesalahan pengkabelan atau terjadi hubungan arus pendek (*Short*) pada panel surya. Pada Kondisi normal, arus di setiap *string* dijumlahkan dan masuk ke *Solar Charge Controller*. Begitu terjadi gangguan pada *String*, tegangan *String* yang mengalami gangguan akan lebih rendah secara signifikan dibandingkan *String* yang tidak mengalami gangguan. Hal ini

menyebabkan mengalirnya arus dari *string* yang sehat ke *string* yang mengalami gangguan.

Sejumlah besar arus dari *String* yang sehat dapat meningkatkan temperature modul panel surya yang mengalami gangguan. Hal ini juga mungkin dapat menyebabkan kebakaran jika tidak dilengkapi dengan proteksi arus lebih.



Gambar 2. 22 MCB untuk Arus DC

Pada gambar 2.22 menjelaskan mengenai *Miniature Circuit Breaker* (MCB) untuk tegangan *Dirrect Current* (DC) pada setiap *string* panel surya yang akan bekerja ketika terjadi *short* pada *String* panel surya, Setiap MCB dipasang pada kutub positif dan negatif dari panel surya karena menggunakan MCB DC yang cara kerjanya berbeda dengan MCB AC.

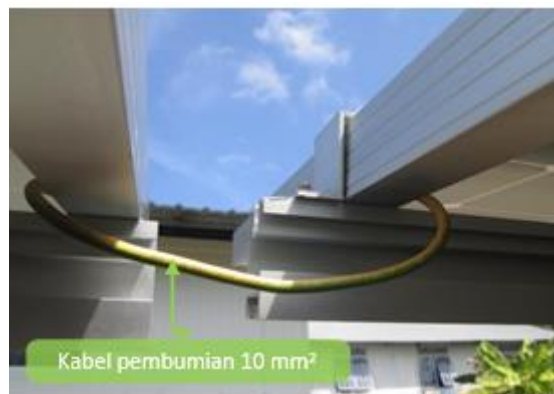
2.6.2 Pembumian pada Panel Surya

Pembumian adalah suatu teknik untuk menyambungkan material yang bersifat konduktif secara elektrik ke bumi. Pembumian bertujuan untuk memastikan instalasi yang aman dari gangguan arus yang dapat membahayakan keselamatan pengguna. Pembumian menyambungkan konduktor yang sedang aktif dan juga konduktor lain yang tidak sedang

dialiri arus seperti rangka modul fotovoltaik, struktur penopang, selungkup berbahan logam, dan peralatan konduktif lainnya. Ketiadaan pembumian tidak saja akan menyebabkan bahaya sengatan listrik tapi juga berpotensi memicu kerusakan instalasi terutama saat terjadi sambaran petir(Ramadhani, 2018).

Selain itu juga pembumian memiliki fungsi antara lain:

- a. Melindungi instalasi dan peralatan kelistrikan dari gangguan arus dan sambaran petir.
- b. Menghindari perbedaan potensial pada komponen konduktif dengan cara menyatukan ikatan ekipotensial.
- c. Memastikan keamanan untuk manusia dan binatang dari sengatan listrik baik langsung (kontak langsung dengan konduktor aktif) maupun tidak langsung (menyentuh komponen konduktif yang teraliri listrik karena gangguan insulasi).
- d. Menyediakan jalur aman untuk menyalurkan gelombang petir ke tanah.



Gambar 2. 23 Grounding pada Panel Surya

Pada Gambar 2.23 diperlihatkan mengenai contoh pembumian pada panel surya dapat terlihat ukuran kabel yang digunakan 10 mm². Pembumian ini diperlukan untuk memastikan bagian terbuka konduktif

yang tidak aktif atau biasanya tidak dialiri arus di sistem PLTS *Off-Grid* berada pada level tegangan yang sama dan potensial nol relative terhadap bumi. Komponen yang tidak aktif mencakup bingkai panel surya, struktur penopang, conduit kabel berbahan logam, selungkup pada kotak penggabung dan panel distribusi.

2.7 Faktor Eksternal Pembangkit Listrik Tenaga Surya

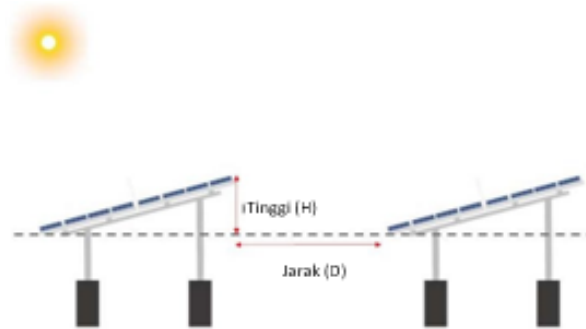
2.7.1 Bayangan

Bayangan adalah masalah yang sangat penting pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya karena dapat secara signifikan mengurangi kinerja sistem PLTS. Terkena bayangan Sebagian maupun secara penuh tidak hanya mengurangi produksi energi, namun juga beresiko mempengaruhi kondisi panel surya. Ketika terkena bayangan Sebagian, pelepasan panas pada sel yang terkena bayangan cenderung akan meningkat biasanya disebut *Hot Spot* dan dapat mengurangi umur panel surya.

Untuk menghindari bayangan atau shading perlu adanya identifikasi lokasi dengan benar selama studi kelayakan untuk memastikan bahwa panel surya akan bebas dari bayangan di sepanjang hari dan di sepanjang musim dalam setahun. Setelah identifikasi lokasi dilakukan maka perlu dibuat desain untuk tata letak tiap lokasi PLTS. Rangkaian panel surya harus memiliki jarak yang cukup satu sama lain untuk menghindari bayangan dari rangkaian panel surya yang berdekatan atau bangunan yang lebih tinggi disekitarnya.

Penting untuk menghitung secara akurat jarak antar rangkaian panel surya, terutama jika rangkaian tidak dipasang pada ketinggian yang sama.

Jarak yang berdekatan dapat menyebabkan bayangan, sementara jarak antar rangkaian yang sangat jauh dapat menyebabkan penggunaan lahan secara berlebihan.



Gambar 2. 24 Jarak antara panel surya

Pada gambar 2.24 dijelaskan mengenai jarak pemasangan panel surya pada 2 *String* atau lebih. Jarak minimum antar rangkaian panel surya yang diperlukan (D) sangat tergantung pada titik lintang lokasi dan ketinggian permukaan rangkain panel surya (H) harus lebih dari atau sama dengan 2 meter agar *Array* PLTS yang kedua tidak terkena bayangan dari *Array* PLTS yang pertama.

2.7.2 Arah pemasangan PLTS

Dalam pemasangan panel surya arah hadap menentukan jumlah keluaran yang cukup dari pembangkit listrik tenaga surya. Idealnya, panel surya harus diatur secara tegak lurus dengan sinar matahari untuk menerima radiasi secara langsung. Arah hadap ditentukan dalam tahap desain dan konstruksi oleh karena panel surya secara langsung dipengaruhi oleh arah hadap pondasi dan struktur. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan arah hadap panel surya diantaranya:

a. Sudut Kemiringan

Sudut kemiringan atau sudut inklinasi ditentukan oleh garis lintang lokasi. Di tempat yang terletak di dekat khatulistiwa seperti Indonesia, datangnya sudut sinar matahari hampir tegak lurus. Oleh karena itu, sudut kemiringan 0° adalah sudut yang paling optimal untuk menangkap radiasi matahari secara langsung. Namun demikian, sudut 0° atau sudut yang relative datar dapat menyebabkan genangan air atau penumpukan debu di permukaan panel. Oleh karena itu, dianjurkan untuk menempatkan panel surya dengan sudut kemiringan minimal 10° untuk mendapatkan mekanisme pembersihan diri, terutama disaat hari hujan. Akan tetapi di tempat dimana ketinggian matahari bervariasi sepanjang tahun, sudut optimal untuk mempertahankan kinerja tinggi ditentukan berdasarkan rata-rata ketinggian matahari di musim yang berbeda (Ramadhani, 2018).

b. Sudut *Azimuth*

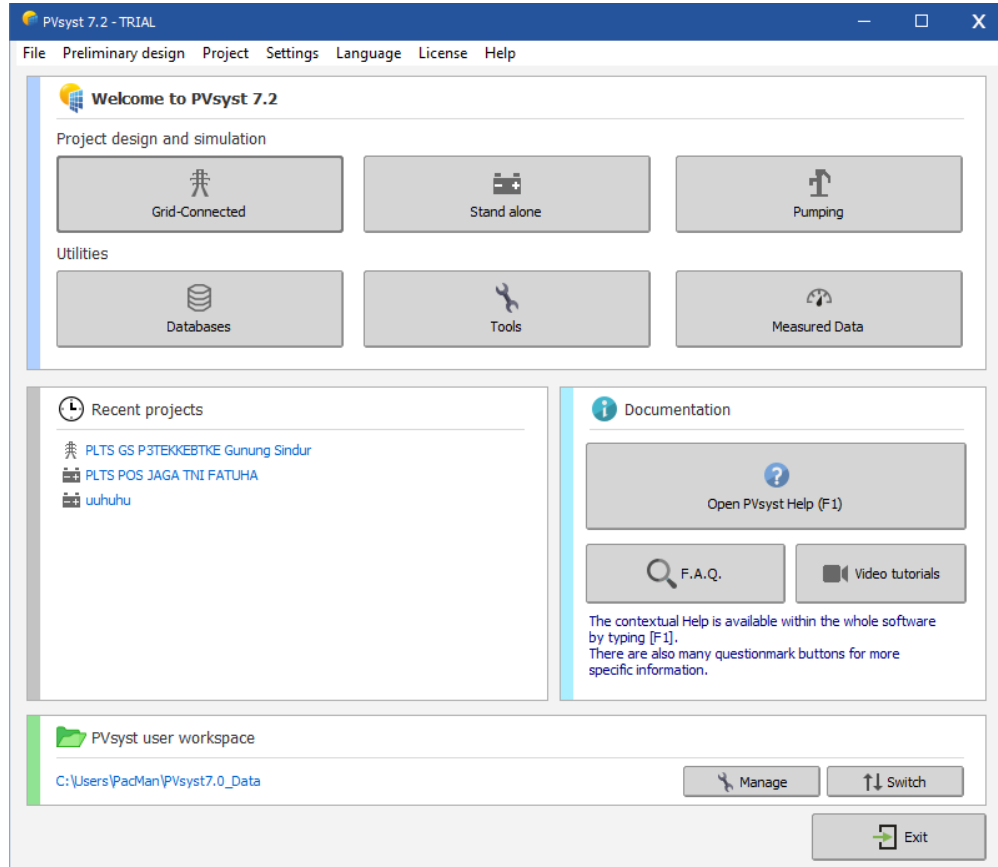
Sudut *azimuth* juga dikenal sebagai arah datangnya sinar matahari. Panel surya harus diatur arah hadapnya untuk menghadap khatulistiwa agar mendapatkan hasil energi yang optimal. Karena *azimuth* berbeda-beda menurut garis lintang dan waktu, di belahan bumi utara dimana garis lintang diatas 0° , arah hadap optimal panel surya adalah 180° atau menghadap ke selatan. Di belahan bumi selatan atau dibawah garis khatulistiwa, panel surya harus menghadap ke utara atau 0° . Arah hadap boleh menyimpang hingga 45° ke timur atau barat tanpa secara signifikan mengurangi energi yang dihasilkan. Koordinat lokasi dapat ditentukan dengan menggunakan GPS (*General/Global Positioning Sistem*) setelah garis lintang diketahui, arah hadap rangkaian panel surya dapat ditentukan (Ramadhani, 2018).

2.7.3 Temperatur

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur panel tetap normal (pada 25°C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C dari 25 °C akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2 kali lipat untuk kenaikan temperatur panel per 10°C(Rahman et al., 2020).

2.8 Software PVSyst

Software PVSyst merupakan aplikasi yang digunakan untuk pembelajaran, pengukuran, dan analisa sebuah sistem secara menyeluruh. Aplikasi ini sendiri dikembangkan oleh universitas Geneva, pada aplikasi ini dapat dilakukan pemodelan sistem PLTS diantaranya *Grid-Connected*, *Stand Alone / Off-Grid*, *Pumping sistem*(Fuaddin & Daud, 2021).



Gambar 2. 25 Tampilan awal PVsyst

Pada gambar 2.25 menunjukkan tampilan awal dari PVsyst yang menunjukkan simulasi apa saja yang dapat dilakukan selain itu juga apabila spesifikasi komponen yang akan digunakan tidak ada dapat ditambahkan *database PV Module, Inverter, Battery* yang akan digunakan apabila tidak tersedia. Melakukan analisa biaya dan losses pun dapat dilakukan pada aplikasi ini.