

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang pernah dilakukan yang berhubungan dengan PLTS Fotovoltaik antara lain adalah:

Dari penelitian Sumbung, Letsoin dan Hardiantono (2016), melakukan analisis penentuan kapasitas dan karakteristik panel surya pada perencanaan pembangunan PLTS komunal di Distrik Okaba. PLTS komunal tersebut di rencanakan untuk 50 rumah tangga dengan kuota energi listrik masing-masing 300 Wh/hari, 6 fasilitas umum dengan kuota energi listrik masing-masing 600 Wh/hari dan 40 PJU dengan kuota energi listrik masing-masing 50 Wh/hari dengan total kebutuhan daya listrik sebesar 45258 Wh/hari. Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilayani dengan PLTS komunal dengan kapasitas 15 kWp dengan kapasitas panel surya 200 Wp sebanyak 74 unit dan kapasitas baterai yang dibutuhkan dengan DOD 80% adalah 74 buah baterai berkapasitas masing-masing 1000 Ah dengan 24 baterai terhubung seri dan 3 rangkaian paralel.

Sedangkan dari penelitian Ramadhan dan Rangkuti (2016), pada makalahnya di Seminar Nasional Cendekiawan pada tahun 2016 melakukan penelitian tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. Perencanaan PLTS terhubung jaringan tersebut dengan mengukur area terukur seluas 855 m². Area terukur tersebut dapat dipasang panel surya berkapasitas 300 Wp sebanyak 312 buah dan *inverter* sebanyak 5 buah yang berkapasitas 20 kW. Dari hasil perhitungan, didapatkan daya keluaran yang dihasilkan perbulan sebesar 10786,2 kWh. PLTS tersebut memerlukan biaya investasi awal untuk sebesar Rp 2.869.777.544 dan biaya pemeliharaan beserta operasional adalah sebesar Rp 28.697.775 dan *payback period* selama 8 tahun 5 bulan.

Dari penelitian Ariani, Karnoto, dan Winardi (2014), membuat analisis kapasitas dan biaya PLTS komunal untuk Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara. PLTS komunal tersebut direncanakan untuk memenuhi kebutuhan listrik desa sebesar 8,9 kWh/hari. PLTS komunal tersebut membutuhkan panel surya sebanyak 36 buah berkapasitas 150 Wp dan baterai sebanyak 24 unit berkapasitas 500 Ah. PLTS komunal tersebut memerlukan biaya investasi total sebesar Rp 433.125.00, dengan *payback period* terjadi pada tahun ke-20. Dan dengan iuran warga sebesar Rp 3.600.000 per tahun tidak dapat menutupi biaya operasional dan biaya penggantian baterai.

Dari penelitian Suriadi dan Syukri (2010), membuat perencanaan PLTS terpadu pada kompleks perumahan di Banda Aceh menggunakan *software* PVSYST. Perencanaan PLTS tersebut dengan kebutuhan daya sebesar 26927 Wh/hari membutuhkan 60 panel surya berkapasitas 200 Wp dan 30 unit baterai dengan total kapasitas 1500 Ah, *solar charge controller* berkapasitas 500 A dan *inverter* berkapasitas 12 kW. Energi listrik yang dihasilkan panel surya untuk insolasi tertinggi menghasilkan energi sebesar 65928 Wh dan insolasi terendah menghasilkan energi 29620 Wh.

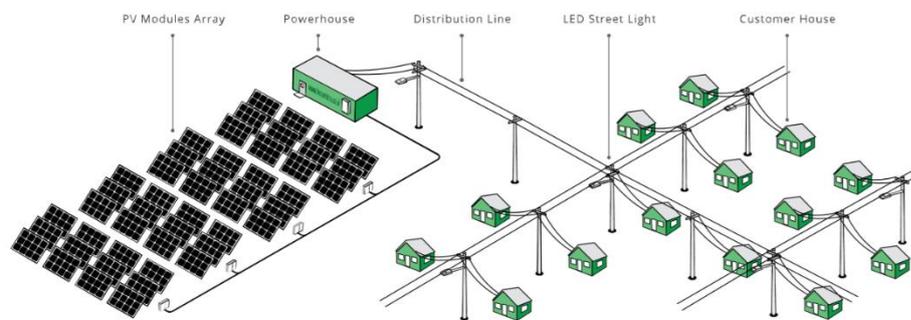
Sedangkan dari penelitian Danish Energy Management A/S (2016), melakukan studi kelayakan dan desain teknik untuk PLTS terhubung jaringan di Pulau Genting Karimunjawa kabupaten Jepara provinsi Jawa Tengah. PLTS *on-grid* tersebut direncanakan untuk menambah daya PLTS sebelumnya yang ada di pulau Nyamuk. Kapasitas PLTS baru untuk pulau Genting berkapasitas 36 kWp tersebut menggunakan panel surya 300 Wp dengan jumlah panel 120 unit dan membutuhkan luas lahan 1000 m² dan membutuhkan biaya investasi Rp 3.836.778.240.

Dalam penelitian ini akan dilakukan perencanaan PLTS Fotovoltaik Terpusat berdasarkan jumlah penduduk dan fasilitas umum dan kuota energi listrik. Untuk perancangan sistem akan dilakukan berdasarkan spesifikasi alat yang dipilih.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 PLTS Fotovoltaik Terpusat

Menurut PERMEN ESDM Nomor 3 Tahun 2017 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik Terpusat yang selanjutnya disebut PLTS Fotovoltaik Terpusat adalah pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan modul fotovoltaik, dan energi listrik yang dihasilkan selanjutnya disalurkan kepada pemakai melalui jaringan tenaga listrik.



Gambar 2.1 Ilustrasi PLTS Fotovoltaik Terpusat
(Sumber: hexamitra.com)

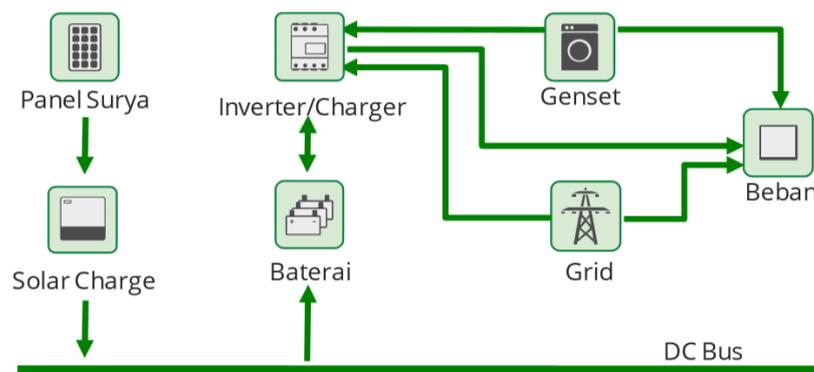
PLTS Fotovoltaik Terpusat diprioritaskan untuk pelayanan listrik kepada masyarakat pengguna atau penerima yang tinggal berkelompok atau jarak antara rumah satu dengan lainnya berdekatan.

Setiap rumah dilengkapi dengan alat pemutus energi untuk menjaga agar energi yang dipakai oleh konsumen dapat seimbang dengan energi yang masuk ke sistem terpusat. Untuk membatasi penggunaan energi listrik oleh konsumen maka digunakan limiter yang berfungsi sebagai kWh *limiter*. Alat ini dipasang di setiap rumah dan akan bekerja sebagai pemutus arus listrik jika energi yang digunakan sudah mencapai nilai yang ditetapkan.

2.2.2 Konfigurasi PLTS fotovoltaik terpusat

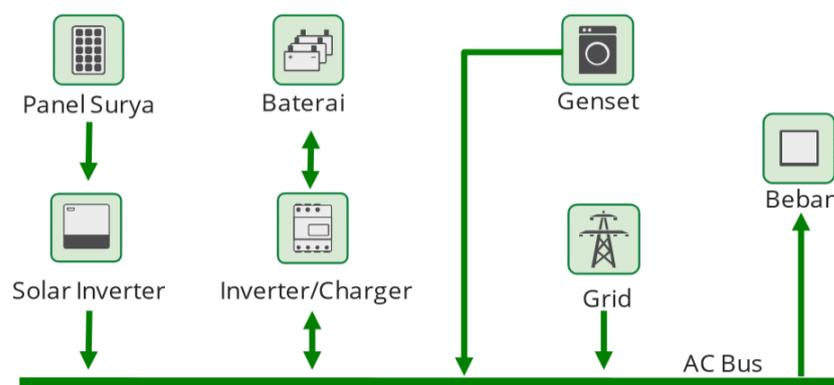
PLTS Fotovoltaik Terpusat secara umum ada 2 tipe konfigurasi yaitu konfigurasi *DC coupling* dan konfigurasi *AC coupling*. *Coupling* merujuk ke titik-titik koneksi. Sistem PLTS Fotovoltaik Terpusat terdiri dari dua sistem listrik yang berbeda, DC dan AC. Ketika sistem ini menggunakan baterai, ada dua poin dari koneksi yang dapat dibuat dari keluaran panel surya. Keluaran tersebut dapat dihubungkan ke sisi DC dari sistem listrik atau ke sisi AC. Aplikasi kedua sistem konfigurasi ini akan membedakan perangkat yang akan digunakan.

Dalam sistem *DC coupling*, keluaran dari panel surya akan masuk ke *solar charge controller* kemudian masuk ke *busbar* DC yang kemudian akan mengisi baterai. Semua proses dalam arus listrik DC, baru kemudian melalui *inverter/charger* (*bi-directional inverter*) arus listrik DC diubah dalam bentuk arus listrik AC dan siap digunakan untuk perangkat yang membutuhkan arus listrik AC. Dalam sistem *DC coupling*, *inverter/charger* memiliki peran yang sangat penting karena menjadi jembatan semua sumber listrik yang akan mengisi baterai. Semua proses harus melalui *inverter/charger*. Dengan skema konfigurasi seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Konfigurasi *DC coupling*
(Sumber: hexamitra.co.id)

Sementara itu dalam sistem *AC coupling*, keluaran dari panel surya akan masuk ke *solar inverter*. Keluaran dari *solar inverter* sudah dalam bentuk arus listrik AC dan masuk ke *busbar AC*. Dari *busbar AC* listrik yang dihasilkan sudah dapat langsung digunakan untuk perangkat yang membutuhkan arus listrik AC. Dengan skema konfigurasi seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



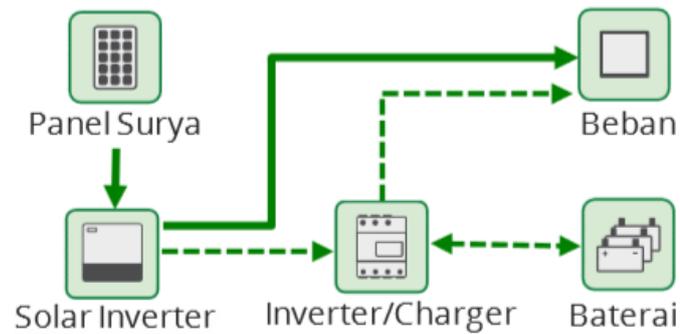
Gambar 2.3 Konfigurasi *AC coupling*
(Sumber: hexamitra.co.id)

Untuk sistem yang membutuhkan baterai, *inverter/charger (bi-directional inverter)* dihubungkan dengan *busbar AC*. *Inverter/charger* mengisi baterai dalam kondisi normal, sementara dalam kondisi ketika membutuhkan energi lebih karena energi dari panel surya tidak mencukupi, maka *inverter/charger* akan menjadi alat yang mengubah arus listrik DC dari baterai menjadi arus listrik AC untuk membantu kekurangan energi yang terjadi. Dalam sistem *AC coupling*, semua perangkat memiliki peran yang sama.

2.2.3 Sistem *off-grid*, *on-grid* dan *hybrid*

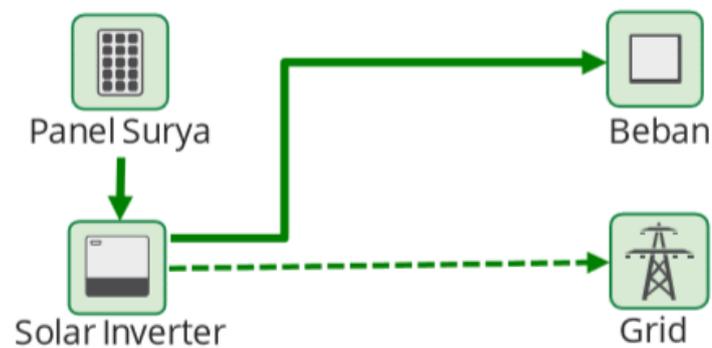
Sistem *off-grid* merupakan sistem PLTS yang umum digunakan untuk daerah-daerah terpencil atau pedesaan yang benar-benar tidak terjangkau oleh jaringan listrik. Sistem *off-grid* disebut juga *stand-alone pv system* yaitu sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai

satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. Berikut skema sistem *off-grid* seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



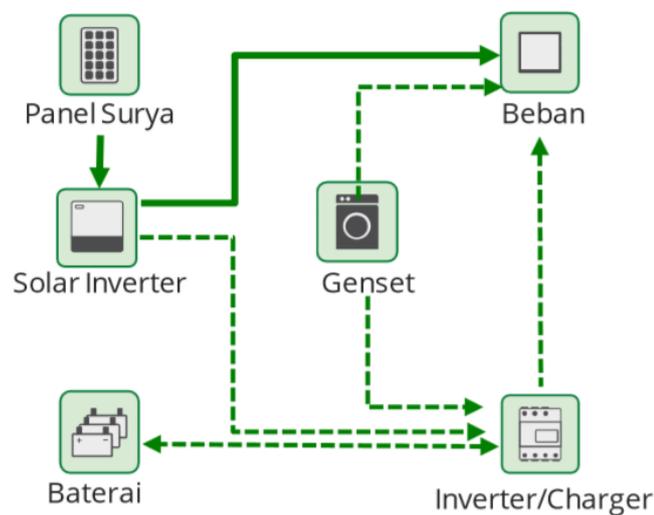
Gambar 2.4 Skema sistem *off-grid*
(Sumber: hexamitra.co.id)

Adapun sistem *on-grid* atau juga yang sering disebut *grid-tie system* menggunakan panel surya untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Rangkaian sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan listrik utama dan dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Berikut skema sistem *on-grid* seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.5 Skema sistem *on-grid*
(Sumber: hexamitra.co.id)

Sistem *hybrid* merupakan gabungan dari sistem *off-grid* dan *on-grid*, sistem ini menghasilkan energi listrik dengan cara yang sama dengan sistem *on-grid* tetapi tetap menggunakan baterai untuk menyimpan energi. Kemampuan untuk menyimpan energi ini memungkinkan sistem *hybrid* untuk tetap beroperasi sebagai cadangan selama pemadaman. Secara umum istilah *hybrid* mengacu pada dua sumber pembangkit seperti angin, matahari dan genset. Berikut skema sistem *hybrid* seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.6 Skema sistem *hybrid*
(Sumber: hexamitra.co.id)

Ciri utama yang umumnya menjadi pembeda antara ketiga sistem tersebut adalah penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik. Dalam sistem *off-grid* baterai menjadi keharusan karena PLTS menjadi sumber energi utama. Pengecualian ada pada sistem pompa air tenaga surya yang hanya bekerja pada siang hari, jadi tidak membutuhkan penyimpanan listrik.

Pada sistem *off-grid* kapasitas baterai harus memperhitungkan cadangan jika kondisi cuaca buruk sehingga produksi energi dari sinar matahari kurang optimal. Umumnya di Indonesia dan yang disarankan oleh kementerian ESDM, cadangan (*autonomous days*) ini adalah 2-4 hari, sementara di negara-negara kepulauan di pasifik dan negara-negara maju

umumnya menetapkan 7-10 hari sebagai patokan cadangan (*autonomous days*).

Dalam sistem *on-grid*, baterai merupakan hal yang tidak wajib, mengingat PLTS bukan merupakan sumber energi listrik yang utama. Demikian juga dengan sistem *hybrid*, keharusan penggunaan baterai disesuaikan dengan kondisi dan pilihan energi primernya. Jika PLTS sebagai energi primer, maka baterai menjadi harus, namun tidak seharus pada sistem *off-grid*, kapasitas baterai dapat dibuat untuk 1 hari penggunaan karena dalam kondisi cuaca buruk, sumber energi lain yang digabungkan dengan PLTS dapat memberikan pasokan energi listrik.

2.3 Pertimbangan Teknis PLTS Fotovoltaik Terpusat

2.3.1 Pemilihan konfigurasi sistem

PLTS Fotovoltaik Terpusat merupakan pembangkit yang dirancang untuk melayani pengguna/beban yang tidak berada di dekatnya dan bekerja 24 jam sehari meskipun matahari hanya bersinar 10-12 jam sehari. Mengingat jaringan listrik PLN yang tidak tersedia, maka sistem ini merupakan PLTS dengan sistem *off-grid* yang difungsikan sebagai sumber energi primer listrik. Oleh karena itu, diperlukan penyimpanan energi dalam bentuk baterai dengan pertimbangan waktu cadangan minimal 1 hari.

Pengembangan dalam waktu-waktu mendatang harus diantisipasi. Pengembangan dapat berbentuk masuknya jaringan listrik PLN atau interkoneksi genset dengan sistem PLTS. Mengingat kedua sumber energi tersebut menghasilkan arus listrik AC, maka dipilih sistem pemilihan konfigurasi penting dilakukan sehingga memudahkan dalam menghubungkan semua sumber dalam *busbar AC*. *Busbar* bisa dalam bentuk plat yang ada dalam panel distribusi atau langsung dikoneksikan ke jaringan distribusi yang ada. Secara umum, pertimbangan pemilihan sistem konfigurasi adalah sebagai berikut:

1. Skalabilitas

Kapasitas PLTS harus dapat ditambah dengan cepat terutama ketika kebutuhan listrik siang hari meningkat karena geliat ekonomi akibat adanya PLTS.

2. Fleksibilitas

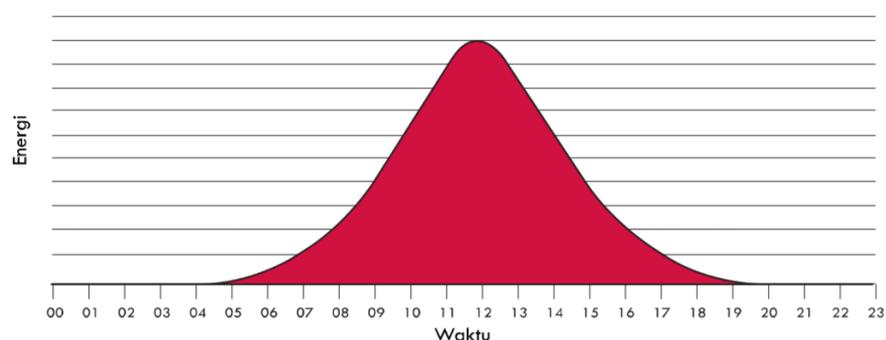
Sistem PLTS harus mudah dihubungkan dengan genset atau jaringan PLN (*grid*) karena itu koneksi sistem harus dapat terkoneksi dengan *busbar* AC, dimana semua pembangkit dan termasuk jaringan PLN tersebut berada pada sisi *busbar* AC.

3. Stabil dan handal

Sistem konfigurasi yang digunakan dalam semua PLTS harus sudah terbukti stabil dan dapat diandalkan (*reliable*).

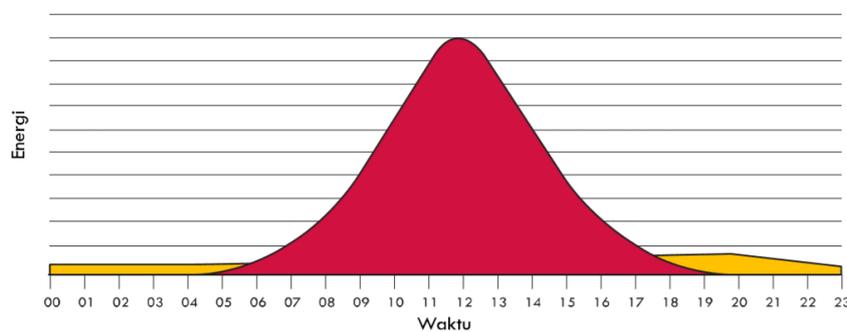
2.3.2 Pola pembebanan

Pola pembebanan menjadi hal penting karena menyangkut dengan kemampuan atau kapasitas PLTS dalam melayani beban. Pembebanan ini harus direncanakan dengan baik dan mengasumsikan jumlah seluruh beban dan proyeksi penambahan beban di masa mendatang.



Gambar 2.7 Grafik produksi energi oleh PLTS
(Sumber: hexamitra.co.id)

PLTS Fotovoltaik Terpusat memproduksi energi listrik pada siang hari dan dimanfaatkan untuk mengisi baterai agar energi bisa digunakan juga pada malam hari. Umumnya pembebanan dalam sistem *off-grid* akan lebih dominan di malam hari. Hal ini mengingat penggunaan listrik di daerah yang jauh dari jangkauan jaringan PLN lebih pada penerangan. Puncak pembebanan diperkirakan sekitar pukul 18.00-22.00.



Gambar 2.8 Grafik produksi energi dan pola pembebanan
(Sumber: hexamitra.co.id)

Namun demikian kehadiran PLTS Fotovoltaik Terpusat dapat mendorong geliat aktivitas ekonomi yang menggunakan listrik untuk peralatan pendukungnya. Oleh karenanya pilihan konfigurasi sistem harus tepat karena penambahan kebutuhan tersebut harus dapat segera dijawab dengan penambahan kapasitas panel surya atau langsung terkoneksi ke sumber listrik lain.

2.4 Sistem Pemasangan Panel Surya

2.4.1 Pengukuran radiasi matahari

Untuk memastikan perancangan kapasitas pembangkit listrik tenaga surya yang tepat, penyinaran matahari harus diukur di lokasi yang direncanakan. Berikut ini merupakan istilah-istilah iradiasi matahari di permukaan bumi antara lain:

1. *Direct normal irradiance (DNI)*

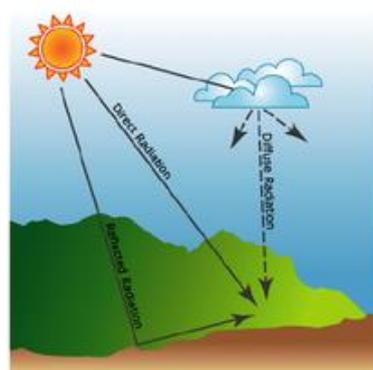
Direct normal irradiance (DNI) adalah jumlah iradiasi matahari yang diterima per satuan luas oleh permukaan bumi yang selalu tegak lurus atau normal terhadap sinar yang datang dalam garis lurus dari arah matahari. Nilai ini dapat memaksimalkan jumlah iradiasi setiap tahun yang diterima oleh permukaan dengan menjaganya agar tetap normal terhadap iradiasi yang masuk. Jumlah ini sangat berguna untuk memusatkan instalasi panel surya yang dapat melacak penyinaran matahari yang maksimal.

2. *Diffuse horizontal irradiance (DHI)*

Diffuse horizontal irradiance (DHI) adalah jumlah iradiasi yang diterima per satuan luas yang tidak tiba pada jalur langsung dari matahari, tetapi telah tersebar oleh molekul dan partikel di atmosfer dan datang sama dari semua arah.

3. *Global horizontal irradiance (GHI)*

Global horizontal irradiance (GHI) adalah jumlah total iradiasi gelombang pendek yang diterima dari atas oleh permukaan horizontal ke tanah. Nilai ini penting untuk instalasi panel surya yang tidak menggunakan alat pelacak penyinaran matahari karena nilai GHI mencakup baik *direct normal irradiance* dan *diffuse horizontal irradiance*.



Gambar 2.9 Perbedaan DNI, DHI dan GHI
(Sumber: firstgreenconsulting.com)

2.4.2 Instalasi panel surya

1. Letak panel surya

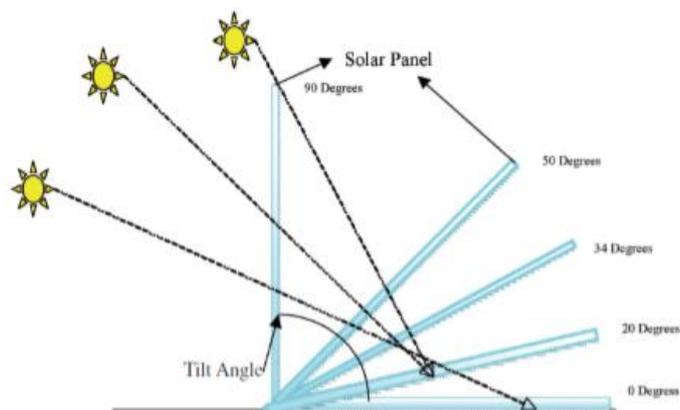
Letak panel surya yang dipasang akan berdampak pada temperatur panel. Posisi diletakkannya panel surya penting untuk menambah nilai tambahan suhu tertinggi ketika melakukan desain rangkaian panel *array*.

| Type of Mount | Adder |
|---------------------|-------|
| Pole or ground | 25°C |
| Tilted rack on roof | 30°C |
| Roof mount | 35°C |

Gambar 2.10 *Temperature adder* untuk letak panel surya
(Sumber: homepower.com)

2. Sudut kemiringan

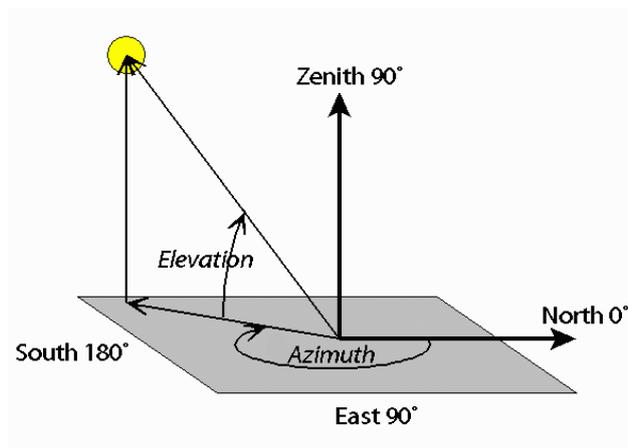
Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap iradiasi matahari dipermukaan panel surya. Untuk pemasangan panel surya dengan sudut kemiringan yang tetap (*fixed*), maka daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan panel surya sama dengan lintang lokasi.



Gambar 2.11 Pemasangan sudut kemiringan panel surya
(Sumber: pveducation.com)

2. Arah panel surya

Arah panel surya mengikuti besaran *azimuth* dari lokasi. *Azimuth* merupakan besarnya sudut yang diapit oleh garis yang ditentukan dengan garis utara dan selatan (dihitung menurut perputaran jarum jam mulai dari titik utara dengan limit 0° - 360°).



Gambar 2.12 Pemasangan posisi menurut *azimuth*
(Sumber: pveducation.com)

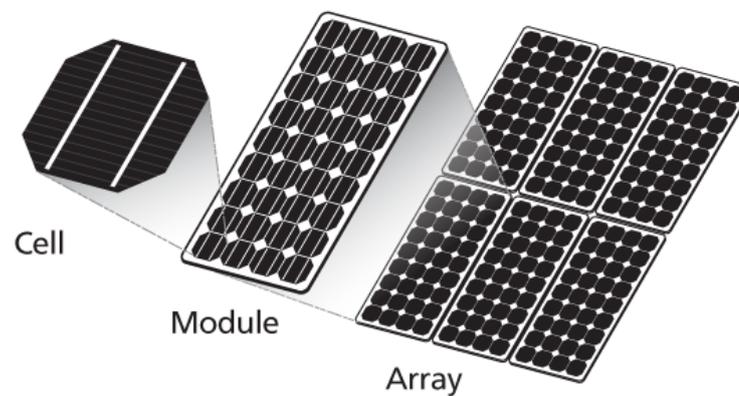
2.5 Komponen PLTS Fotovoltaik Terpusat

2.5.1 Panel surya

Panel surya terdiri rangkaian beberapa sel surya yang dihubungkan seri maupun paralel yang ditempatkan sedemikian rupa hingga berbentuk persegi atau persegi panjang, dilaminasi dan dilapis kaca khusus hingga diberi penguat rangka atau *frame* pada keempat sisinya. Setiap panel surya dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki daya puncak yang spesifik. Ketika mendapatkan pancaran sinar matahari pada umumnya satu sel surya dapat menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 0,5 sampai dengan 1 volt, dan juga arus *short-circuit*. Besar tegangan dan juga arus tersebut tidak cukup untuk diaplikasikan langsung oleh sebab itu sejumlah sel surya disusun

secara seri dan juga paralel sehingga rangkaian beberapa sel ini akan membentuk sebuah set yang disebut panel surya.

Kebanyakan, panel surya terdiri dari 28 sampai 72 sel surya, yang dapat menghasilkan tegangan DC 12-38 volt dalam kondisi sinar matahari standar. Kumpulan panel surya dikonfigurasi seri maupun paralel hingga membentuk sistem yang disebut panel *array*.



Gambar 2.13 Susunan pada panel surya
(Sumber: samlexsolar.com)

Beberapa karakteristik dari panel surya adalah sebagai berikut:

1. *Standart test condition (STC)*

Standart test condition (STC) adalah angka referensi untuk panel surya dan merupakan standar industri untuk kondisi di mana panel surya diuji. Dengan menggunakan nilai kondisi yang tetap, semua panel surya dapat lebih akurat satu sama lain nilainya. Ada tiga kondisi uji standar seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Nilai tes standar panel surya oleh manufaktur

| Referensi | Nilai |
|--------------------|-----------------------|
| <i>Irradiance</i> | 1000 W/m ² |
| <i>Temperature</i> | 25 °C |
| <i>Air Mass</i> | 1,5 |

2. Spesifikasi panel surya

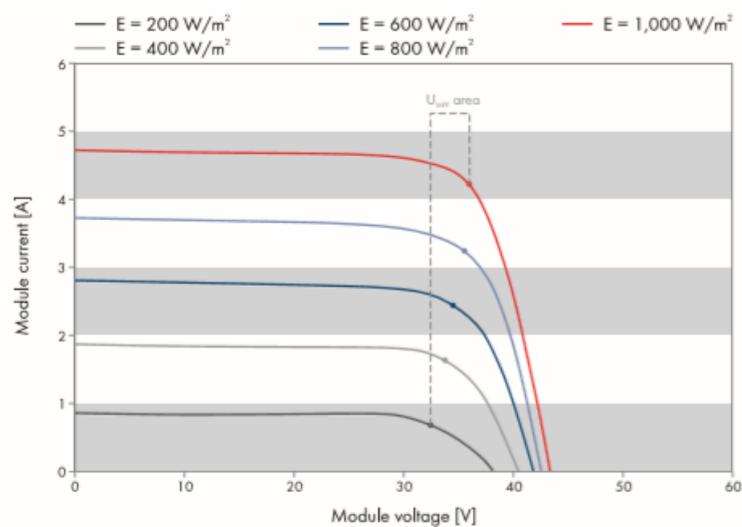
Spesifikasi panel surya merupakan data teknis dari panel surya yang diberikan oleh manufaktur. Data ini penting untuk perhitungan rancangan desain panel *array* sesuai dengan kapasitas *inverter* atau *solar charger controller* agar terpenuhinya syarat tegangan, arus dan daya dari panel surya. Berikut tabel data teknis pada *datasheet* panel surya:

Tabel 2.2 Simbol dan definisi dari spesifikasi panel surya

| Simbol | Satuan | Definisi |
|-----------|--------|------------------------------|
| P_{MAX} | Wp | Daya puncak pada kondisi STC |
| V_{MP} | V | Tegangan operasi maksimal |
| I_{MP} | A | Arus operasi maksimal |
| V_{OC} | V | <i>Open-circuit voltage</i> |
| I_{SC} | A | <i>Short-circuit current</i> |

3. Iradiasi

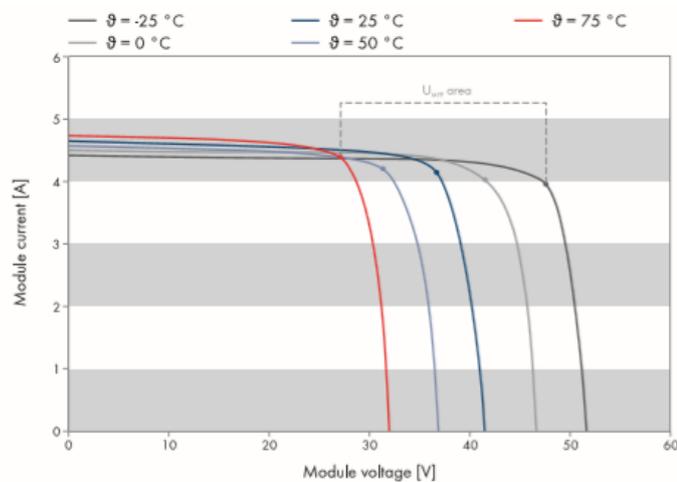
Panel surya tidak selalu menghasilkan daya puncak sesuai dengan spesifikasinya. Daya yang tertera pada spesifikasinya hanya terjadi pada kondisi tes standar. Dalam kenyataannya, tingkat iradiasi dari matahari dan suhu sekitar sering berubah-ubah. Perubahan iradiasi memiliki pengaruh terbesar pada arus dari panel surya.



Gambar 2.14 Contoh perubahan arus pada panel surya ketika iradiasi berbeda (Sumber: sma.de)

4. Suhu

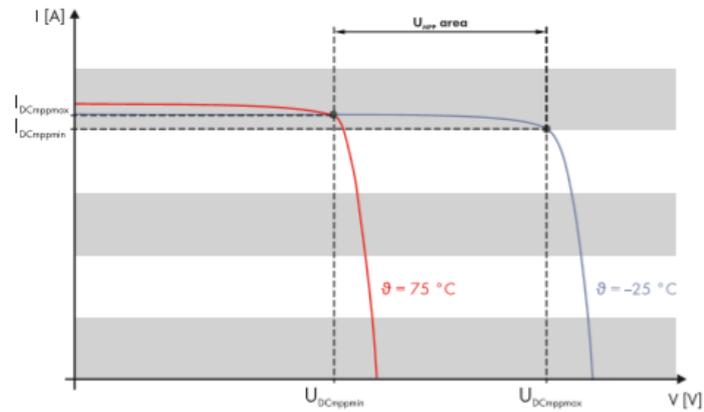
Dalam hal perubahan suhu, hubungannya merupakan kebalikan dari perubahan iradiasi dimana jika suhu turun, tegangan modul meningkat dan arus modul tetap. Peningkatan tegangan pada kondisi suhu rendah harus dipertimbangkan dalam perancangan rangkaian panel *array*. Karena nilai daya dari panel surya akan menurun pada suhu tinggi.



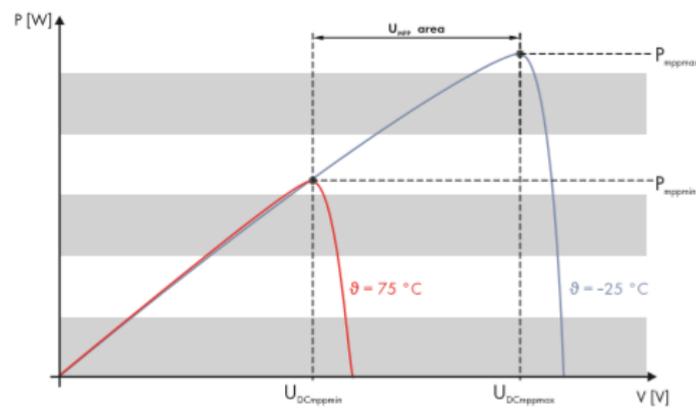
Gambar 2.15 Contoh tegangan dan arus panel surya pada berbagai suhu dan iradiasi tetap (Sumber: sma.de)

5. *Maximum power point (MPP)*

Maximum Power Point (MPP) adalah titik operasi dari panel surya dimana daya terbesar dapat diperoleh, yaitu titik dimana arus dan tegangan menghasilkan daya maksimum. MPP tidak bernilai konstan tetapi berubah bergantung pada suhu.



Gambar 2.16 Contoh tegangan MPP pada berbagai suhu dan iradiasi tetap (Sumber: sma.de)



Gambar 2.17 Contoh daya MPP pada berbagai suhu dan iradiasi tetap (Sumber: sma.de)

2.5.2 Solar charge controller (SCC)

Solar charge controller berfungsi sebagai pengendali atau pengatur daya dan tegangan yang masuk ke baterai dari panel surya. Alat ini memastikan baterai tidak diisi berlebihan pada siang hari, dan daya tidak lari mundur ke panel surya pada malam hari dan menguras baterai.

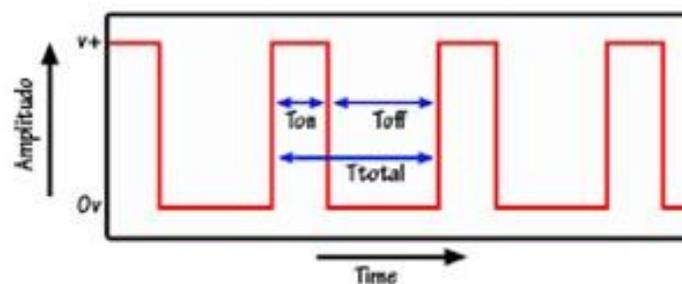


Gambar 2.18 Contoh gambar *solar charge controller* merek schneider
(Sumber: solar.schneider-electric.com)

Ada dua jenis teknologi sistem algoritma yang umum digunakan oleh *solar charge controller*, bagaimana kinerja mereka dalam suatu sistem sangat berbeda satu sama lain.

1. PWM (*Pulse Wide Modulation*)

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda.

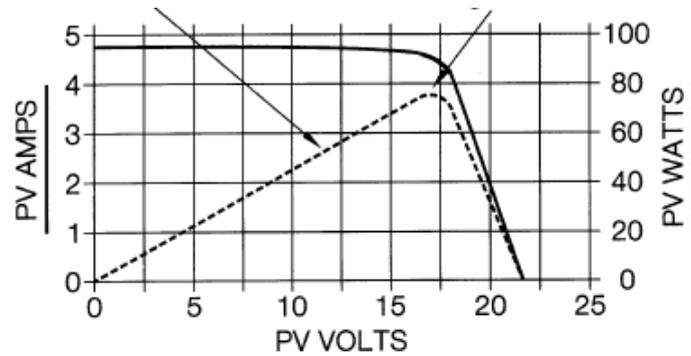


Gambar 2.19 Contoh gambar sinyal PWM
(Sumber: solar.schneider-electric.com)

2. MPPT (*Maximun Power Point Tracker*)

Maximum Power Point Tracking atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah algoritma sistem elektronik pada *solar charger*

controller yang dioperasikan pada sebuah panel surya sehingga bisa menghasilkan daya maksimum.



Gambar 2.20 Contoh gambar sinyal MPPT
(Sumber: solar.schneider-electric.com)

2.5.3 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). *Inverter* mengkonversi arus listrik searah (DC) dari perangkat seperti baterai, panel surya arus listrik bolak-balik (AC).

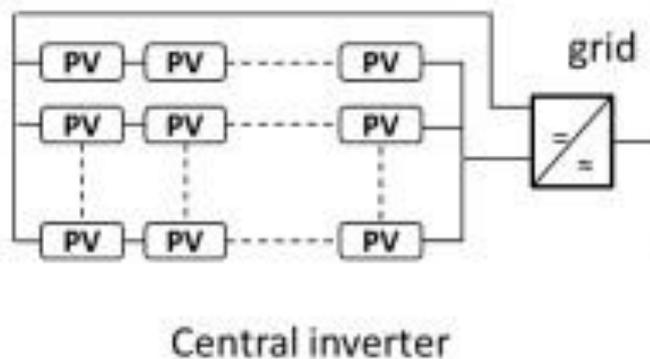


Gambar 2.21 Contoh gambar *inverter* merek schneider
(Sumber: solar.schneider-electric.com)

Pada *inverter* terdapat konsep hubungan yang menjelaskan tentang bentuk rangkaian *inverter* pada suatu sistem PLTS. Secara umum ada dua konsep hubungan inverter yaitu, *inverter* sentral dan *inverter* string.

1. *Inverter* sentral

Inverter sentral (*central inverters*) biasanya digunakan pada berbagai sistem PLTS skala menengah dan skala besar. *Inverter* sentral memberikan instalasi yang lebih handal dan sederhana, namun memiliki kekurangan yaitu mudah terjadi *mismatch losses* yang disebabkan perbedaan tegangan dan arus dari panel *array* yang sama, dan ketiadaan dari *maximum power point tracking* (MPPT) untuk setiap string. Hal ini mungkin menyebabkan masalah pada panel *array* yang memiliki kemiringan dan sudut orientasi yang beragam, berkaitan dengan iradiasi, bayangan atau tipe panel surya yang berbeda.

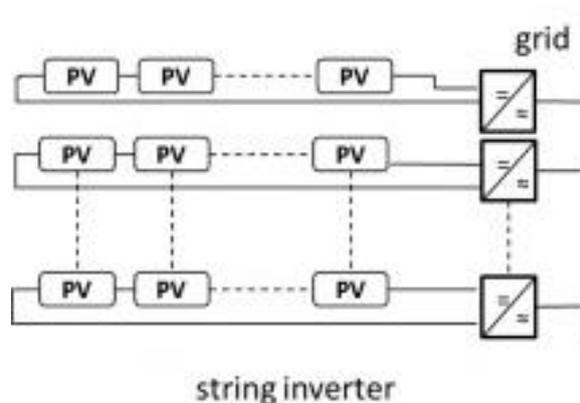


Gambar 2.22 Contoh gambar rangkaian *inverter* sentral
(Sumber: researchgate.com)

2. String *inverter*

String *inverter* menggunakan *inverter* yang berbeda untuk setiap string panel *array*. Penggunaan string *inverter* sangat banyak dan meningkat karena string *inverter* dapat mengatasi batasan daya dan lebih murah dalam proses pabrikasinya dari pada jenis *inverter* sentral. Sistem ini sangat cocok untuk kondisi panel surya yang tidak bisa dipasang pada

orientasi yang sama, berbeda spesifikasi, atau perbedaan iradiasi yang diterima. Sistem ini memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dalam perbaikan dan penggantian, karena tidak diperlukan personil dan spesialis, dan waktu yang dibutuhkan.



Gambar 2.23 Contoh gambar rangkaian string *inverter*
(Sumber: researchgate.com)

2.5.4 Baterai

Baterai adalah alat elektro kimia yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Baterai terdiri dari dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai pada sistem PLTS menggunakan baterai jenis sekunder.

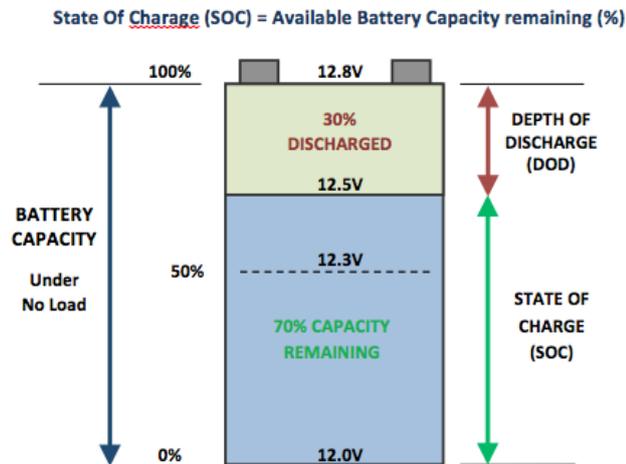
Baterai sekunder merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang atau *rechargeable battery*. Baterai pada PLTS harus memenuhi tujuan yaitu untuk menyimpan kelebihan daya dari PLTS yang selanjutnya digunakan untuk memberikan daya listrik ke sistem ketika daya tidak disediakan oleh panel surya. Biasanya harus memenuhi kebutuhan beban dihitung dengan jumlah otonomi yang diharuskan. Jenis baterai sekunder yang sering dipakai untuk kapasitas yang besar antara lain baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) yang memiliki sebutan lain SLA (*Sealed Lead Acid*) dan Li-Ion (*Lithium-Ion*).



Gambar 2.24 Contoh bentuk baterai VRLA dan Lithium-ion
(Sumber: wholesolar.com)

Pada baterai terdapat parameter-parameter yang digunakan sebagai acuan dari penggunaan kapasitas baterai yaitu *state of charge (SoC)* yang didefinisikan sebagai rasio dari total kapasitas energi yang dapat digunakan oleh sebuah baterai dengan kapasitas baterai seluruhnya. *state of charge (SOC)* menggambarkan energi yang tersedia, dan dituliskan dalam persentase, dari besarnya arus listrik yang tersisa setelah dipakai.

Kapasitas nominal energi dari sebuah baterai tidak dapat dikeluarkan secara total karena akan berdampak pada umur baterai, dengan *state of charge (SOC)* baterai ini kita dapat menentukan total energi yang dapat digunakan dari sebuah baterai.



Gambar 2.25 Contoh parameter penggunaan kapasitas baterai
(Sumber: janaloka.com)

Misalkan, baterai dengan 80% *state of charge (SOC)* pada baterai berkapasitas 1000 Ah, maka energi yang dapat digunakan dari baterai tersebut sebesar 800 Ah. Kebalikan dari *state of charge (SOC)* adalah *depth of discharger (DOD)*, nilai yang menunjukkan besarnya arus listrik yang telah digunakan, dihitung dalam persen.

2.6 Pedoman Pembangunan PLTS Fotovoltaik Terpusat

2.6.1 Spesifikasi teknis peralatan

Di Indonesia terdapat beberapa pedoman atau kriteria dalam pembangunan PLTS Fotovoltaik Terpusat, yaitu diantaranya PERMEN ESDM Nomor 3 Tahun 2017 yang rincian umumnya peralatan yang harus digunakan sebagai berikut:

1. Panel surya

- Jenis panel surya merupakan jenis *mono/polycrystalline silicon*.
- Daya panel surya per unit minimal 200 Wp
- Efisiensi panel surya lebih dari 16%.
- Rangkaian panel surya mempunyai kapasitas total sesuai dengan hasil perhitungan kapasitas sistem.

- Keluaran dari panel *array* harus melalui *combiner box* sebelum masuk ke sistem.
- Panel surya harus diproduksi di dalam negeri, oleh karenanya wajib melampirkan tanda capaian tingkat komponen dalam negeri yang diterbitkan oleh Kementerian Perindustrian Republik Indonesia dengan nilai lebih dari 40%.
- Memiliki garansi umur minimal 20 (dua puluh) tahun, dengan degradasi output <1% pertahun dan <20% pada akhir usia teknis.

2. *Solar charger controller*

- Daya keluaran total minimal disesuaikan dengan kapasitas keluaran pembangkit.
- Tegangan masukan minimal 48VDC
- Gelombang keluaran sinus murni
- Kontrol sistem algoritma menggunakan MPPT
- Efisiensi lebih dari 98%
- Harus memiliki sistem proteksi dari beban lebih, hubungan arus singkat, *over/under voltage*, *reverse polarity*.
- Dilengkapi dengan fitur *communication/interface* untuk komunikasi data dengan *remote monitoring system*.

3. *Inverter*

- Daya keluaran disesuaikan dengan kapasitas pembangkit.
- Tegangan keluaran 50 Hz, 220-230VAC untuk satu fasa atau 380-400VAC untuk tiga fasa
- Gelombang keluaran merupakan sinus murni
- Memiliki efisiensi lebih dari 95%
- Harus memiliki sistem proteksi dari beban lebih, hubungan arus singkat, *over/under voltage*, *reverse polarity*.
- *Inverter* harus dapat bekerja secara paralel.
- Dilengkapi dengan manajemen kontrol untuk mengatur energi yang masuk dan keluar dari *inverter*.

- Memiliki fitur sensor temperatur baterai dan sensor untuk mencegah kerugian penggunaan kapasitas baterai yang berlebihan.
- Dilengkapi dengan fitur *communication/interface* untuk komunikasi data dengan *remote monitoring system*.

4. Baterai

- Jenis baterai adalah VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*), OPzV *stationary battery*.
- *Deep cycle, life cycle* minimal 2200 pada DOD (*Depth of Discharge*) 80%.
- Kapasitas baterai menyesuaikan dengan hasil perhitungan kapasitas sistem.
- Tegangan nominal 2 volt.
- Tegangan keluaran dari *battery bank* minimal 48VDC.
- Baterai OPzV sudah diproduksi di dalam negeri, oleh karenanya wajib menggunakan produksi Indonesia dan dibuktikan dengan tanda sah capaian tingkat komponen dalam negeri yang diterbitkan oleh Kementerian Perindustrian Republik Indonesia dengan nilai lebih dari 75%.

5. *Combiner box*

- Interkoneksi dari masing-masing panel *array* harus dikelompokkan dan ditempatkan pada *combiner box*.
- Penempatan *combiner box* harus aman dari geyuran hujan secara langsung.
- Dilengkapi dengan pembatas arus yang modular, *isolator switch*, dan *surge protection*. Semua rating arus dan tegangan harus sesuai dengan kapasitas daya keluaran dari panel *array*.

6. *Remote monitoring system*

- Parameter-parameter, data-data dan informasi-informasi dari sebuah sistem PLTS diperlukan untuk menganalisis kehandalan fungsi dan

jumlah energi yang diproduksi. Oleh sebab itu, sebuah *remote monitoring system* harus tersedia.

- RMS sudah terintegrasi dengan perangkat utama dan bisa diakses melalui jaringan komputer.

7. Pengkabelan

- Kabel keluaran dari *combiner box* ke *solar charge controller* menggunakan kabel tipe NYFGbY/NYRGbY dengan luas penampang menyesuaikan besar arus.
- Kabel daya dari *combiner box* ke *solar charger controller* ditanam di tanah minimal 30 cm, dan masuk ke dalam rumah pembangkit (*power house*).
- Kabel daya dari baterai ke *battery inverter*, tipe NYAF yang dilengkapi isolasi tambahan dengan luas penampang menyesuaikan arus pada baterai.
- Kabel daya dari inverter ke panel distribusi, tipe NYY dengan luas penampang menyesuaikan arus pada *inverter*.
- Sistem pembumian dari panel *array* menggunakan penghantar tipe NYY *yellow green* 35 mm².

8. Panel distribusi

- Panel distribusi dilengkapi dengan saklar utama/pemisah, pembatas arus *mini circuit breaker* (MCB), *earth leak circuit breaker* (ELCB), saklar terminal, dan *busbar*.
- Tegangan sistem 380/400VAC untuk sistem tiga fasa, atau 220/230 VAC untuk sistem satu fasa.
- Sistem proteksi dilengkapi dengan *fuse*, *surge protection* dan *circuit breaker* dengan kapasitas menyesuaikan dengan arus hasil perhitungan.