

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sumber energi fosil saat ini merupakan sumber energi utama untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan energi fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui, dan semakin lama akan menipis persediaannya. Menurut para cendekiawan perlu adanya solusi untuk mengatasi permasalahan sumber energi fosil tersebut. Salah satu solusi yang ada yaitu pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan yakni sumber energi matahari atau tenaga surya. Berikut beberapa penelitian yang membahas mengenai pembangkit listrik tenaga surya antara lain:

Dari penelitian Ari Rahayuningtyas (2014), melakukan penelitian studi perencanan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) skala sederhana. Dengan iradiasi harian matahari rata-rata 4,5-4,8 KWh/m²/hari Indonesia dapat digolongkan daerah yang berpotensi untuk memanfaatkan energi surya. Sehingga energi surya dapat menjadi salah satu energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan. Energi surya ramah lingkungan dan mudah diperoleh dari alam.

Penelitian Dafi Dzulfikar dan Wisnu Broto (2016) pada makalahnya di Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016 melakukan penelitian tentang optimalisasi pemanfaatan energi listrik tenaga surya skala rumah tangga. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sudah banyak tersedia di Indonesia, biasa digunakan untuk listrik di pedesaan terpencil, sistem seperti ini biasa disebut dengan sebutan SHS (*Solar Home System*). SHS biasanya hanya digunakan pada skala kecil dengan menggunakan modul berkapasitas 50-100 Wp, dan dapat menghasilkan listrik 150-300 Wh per hari.

Ramadhan dan Rangkuti (2016) pada Seminar Nasional Cendekiawan, dalam makalah penelitiannya tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga

Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. Terpasang PLTS pada area terukur seluas 855 m². Pada area tersebut terpasang panel surya sebanyak 312 buah dengan kapasitas 300 Wp, dan 5 buah inverter berkapasitas 20 kW. Hasil perhitungan diperoleh daya yang dihasilkan perbulan sebesar 10.786,2 kWh. Dengan hasil daya keluaran 10.786,2 kWh memerlukan investasi awal sebesar Rp 2.869.777.544 serta biaya perawatan dan pemeliharaan sebesar 10% dari investasi awal. Dan selama 8 tahun 5 bulan sudah mencapai *payback periode*.

Penelitian Wahri Sunanda dan Rika Favoria Gusa (2016) pada Seminar Nasional Avoer 8 dalam makalahnya tentang analisis peluang penghematan ekonomi sistem fotovoltaik terhubung jaringan listrik pada kawasan perumahan di kota Pangkal Pinang. Berdasarkan data konsumsi listrik, rumah tangga dengan daya sebesar 1300 VA dan 2200 VA selama satu tahun di kota Pangkal Pinang, ditentukan beban harian sistem fotovoltaik dengan nominal sebesar 20%, 30%, dan 40% dari nilai rata-rata konsumsi listrik harian rumah tangga. Dari variasi beban harian sistem fotovoltaik, yang paling ekonomis ialah beban harian 20%. Dengan konfigurasi dan perhitungan *lift time* sistem selama 25 tahun. Biaya penggunaan listrik untuk fotovoltaik *on-grid* dengan beban harian sebesar 20% lebih mahal sekitar Rp 21.814 sampai Rp 35.885 perbulan apabila dibandingkan dengan biaya penggunaan listrik tanpa menggunakan sistem fotovoltaik. Beban harian sistem fotovoltaik yang paling ekonomis pun belum ada peluang penghematan dari sisi ekonomi jika menggunakan sistem fotovoltaik. Apabila dilihat dari sisi ekonomi, menggunakan listrik PLN lebih efisien dan lebih murah jika dibandingkan dengan menggunakan sistem fotovoltaik untuk konsumsi listrik rumah tangga.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sel Surya

Sel fotovoltaik atau sel surya berasal dari bahasa Inggris yakni "*photovoltaic*". *Photovoltaic* berasal dari dua kata yaitu "*photo*" yang berarti cahaya dan "*volt*" merupakan sebutan satuan pengukuran tegangan listrik. Sel surya adalah semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian dioda tipe "p" dan "n", yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik yang digunakan untuk menyerap energi matahari dan dapat menyebabkan arus yang mengalir dari dua lapisan yang bermuatan berlawanan, sangat berpengaruh terhadap kinerja sel surya.

Bahan produksi dari sel surya merupakan hal yang paling membedakan. Kristal silikon adalah bahan yang sering digunakan. Karena memiliki tingkat kemurnian yang tinggi maka bahan kristal silikon digunakan. Nilai kadar kemurnian silikon sebanding dengan efisiensi yang dihasilkan, nilai kemurnian tinggi maka tinggi pula efisiensinya dalam mengubah energi matahari menjadi listrik.

Panel surya dengan bahan silikon memiliki beberapa jenis yaitu:

1. Sel silikon monokristalin

Yang beredar di pasaran sel monokristalin efisiensinya sekitar 15%. Dengan kemurnian yang sangat tinggi sel monokristalin memiliki struktur kristal yang sangat baik.

2. Sel Silikon Polikristalin

Sel polikristalin biasa disebut sel multikristalin. Efisiensi yang dimiliki sel polikristalin lebih rendah dengan rata-rata sekitar 12%.

3. Sel Silikon Amorph

Sel-sel silikon amorph terdiri dari atom silikon dalam sebuah lapisan homogen yang tipis dan bukan berupa kristal tetapi dapat menyerap sinar

matahari dengan baik. Selain itu, silikon amorph juga dikenal dengan sebutan teknologi PV lapisan tipis atau “*thin film*”. Efisiensi yang dimiliki silikon amorph lebih rendah daripada sel-sel kristalin lainnya yang pada umumnya sekitar 6%.

4. Teknologi Lapisan Tipis (*Thin Film*)

Cadmium Tellurida (CdTe), *Cadmium sulfida*, *Copper Indium Diselenida* (CIS) dan *Gallium Arsenida* adalah contoh pengembangan teknologi bahan sel surya *thin film*. Sel-sel *thin film* sangat fleksibel, karena bersifat fleksibel maka dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi baik untuk permukaan yang rata ataupun yang melengkung.

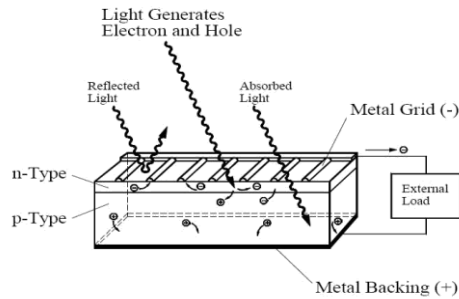
2.2.2 Prinsip Kerja Sel Surya

Efek fotolistrik adalah elektron yang lepas dari permukaan metal yang disebabkan penumbukan cahaya. Efek fotolistrik dapat terjadi jika bahan semikonduktor disimpan dibawah sinar pancaran matahari, maka bahan semikonduktor seperti silikon akan melepaskan sedikit listrik. Efek tersebut adalah proses dasar fisis dari fotovoltaiik yang mengkonversi energi cahaya menjadi listrik.

Partikel-partikel “*photons*” memiliki sejumlah energi yang kapasitas besar energinya tergantung dari panjang gelombang pada spektrum cahaya. Pada saat photon bertabrakan dengan sel surya maka cahaya tersebut akan dipantulkan atau diserap atau bisa juga hanya diteruskan. Cahaya yang diserap dapat untuk membangkitkan listrik.

Pada saat terjadi tumbukan, energi yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor. Dengan energi yang didapat dari photon, pelepasan diri elektron dari ikatan bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir.

Terbentuknya lubang atau “hole” disebabkan oleh pelepasan elektron dari ikatannya. Pada gambar 2.1 ditunjukkan gambar konversi matahari

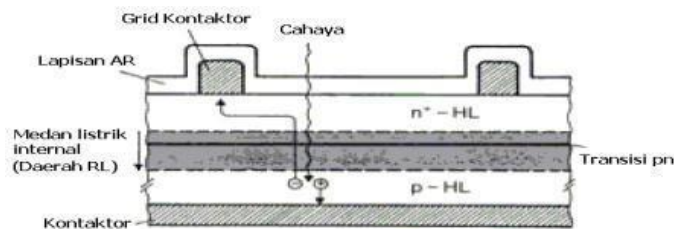


Gambar 2.1 Konversi cahaya matahari

(Sumber : www.media.neliti.com)

Secara umum, konstruksi sebuah fotovoltaik terdiri dari 3 bagian, yaitu

- Lapisan kontaktor .
- Lapisan yang digunakan sebagai tempat terjadinya pemisahan muatan akibat fotoinduksi.
- Lapisan penerima radiasi matahari.



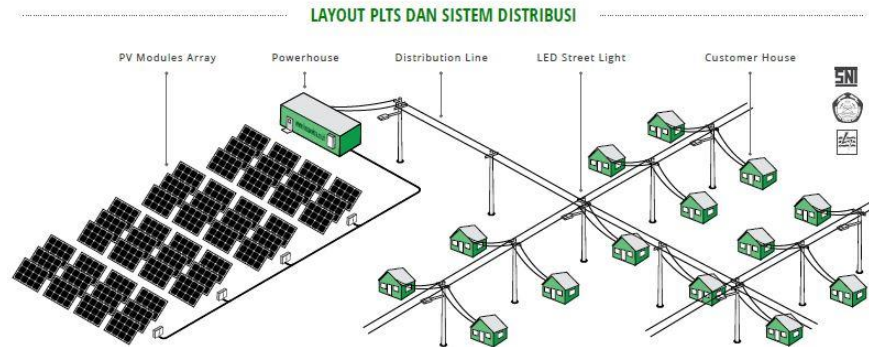
Gambar 2.2 Penampang PV

(Sumber : www.media.neliti.com)

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Fotovoltaik

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2017, Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik atau yang disebut PLTS Fotovoltaik adalah pembangkit listrik dengan menggunakan modul fotovoltaik yang langsung diinterkoneksi ke jaringan

tenaga listrik PT PLN (Persero). Gambaran *layout* PLTS fotovoltaik dan sistem distribusinya ditunjukkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:

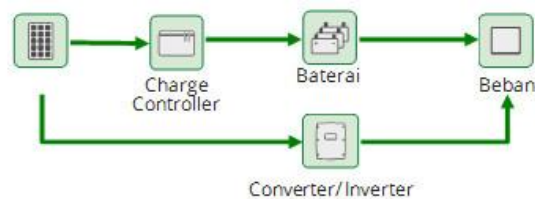


Gambar 2.3. *Layout* PLTS Fotovoltaik dan Sistem Distribusi

(Sumber: www.hexamitra.com.)

PLTS Fotovoltaik digunakan untuk pelayanan listrik kepada masyarakat pengguna atau konsumen yang tinggal di daerah yang rumahnya saling berdekatan. Alat pemutus energi dipasang di setiap rumah yang bertujuan untuk keamanan sistem dan keseimbangan energi dapat terjaga.

Di Indonesia, pengaplikasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) identik dengan teknologi fotovoltaik dimana PLTS merubah cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik yang menghasilkan energi listrik. Keluaran energi berupa listrik DC yang kemudian dikonversi oleh inverter menjadi listrik AC. Dalam dokumen ini, PLTS akan merujuk pada penerapan teknologi fotovoltaik. Gambar 2.4 menunjukkan gambar skema umum PLTS.



Gambar 2.4. Skema Umum PLTS

(Sumber : www.linkedin.com)

PLTS sangat efisien digunakan pada siang hari saat matahari bersinar. Untuk malam hari jika tidak terdapat sumber energi listrik yang lain (seperti PLN/Genset) maka PLTS dilengkapi dengan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik untuk dapat digunakan pada malam hari.

2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-grid* (komunal)

Pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* yang dikelola secara mandiri atau yang biasa disebut dengan sistem PLTS komunal atau *stand-alone*, sistem ini dapat beroperasi secara independen tanpa terkoneksi dengan jaringan PLN. PLTS dengan sistem komunal membutuhkan baterai, yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari untuk memenuhi kebutuhan beban energi listrik pada malam hari. Secara umum, ada dua konfigurasi sistem PLTS *off-grid* yang biasa digunakan, yakni sistem AC *Coupling* dan DC *Coupling*. Kedua konfigurasi tersebut menggunakan komponen yang sama kecuali *solar charge controller*.

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

1. Modul surya dapat menghasilkan energi listrik pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari modul surya ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller*, supaya tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang dihasilkan oleh modul surya sangat tergantung kepada intensitas iradiasi matahari yang diterima oleh modul surya.
2. Kemudian energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan.
3. Dibutuhkan jaringan distribusi yang berguna untuk mendistribusikan energi listrik penduduk.

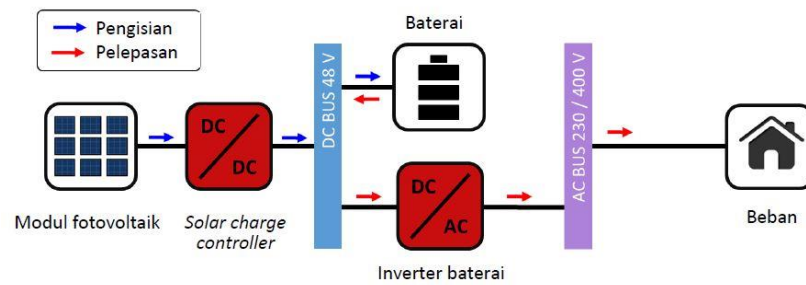
PLTS *off-grid* sistem komunal memiliki beberapa keuntungan diantaranya:

1. Menggunakan sumber energi terbarukan (radiasi sinar matahari) sebagai bahan bakarnya.
2. Tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca sehingga ramah lingkungan.
3. Waktu pembangunan yang relatif cepat.
4. Modular, dapat dibangun dengan kapasitas berapapun sesuai kebutuhan.

2.2.5 Sistem DC Coupling

Sistem dapat dikatakan mempunyai konfigurasi DC *Coupling* jika komponen utamanya terhubung dengan busbar DC. Daya listrik dibangkitkan oleh modul fotovoltaik dan dimanfaatkan sebagai pengisi baterai melalui *solar charge controller*. SCC adalah alat yang digunakan untuk mengubah DC ke DC dan untuk menurunkan tegangan modul fotovoltaik ke level tegangan baterai yang juga dilengkapi dengan alat untuk mengoptimalkan penangkapan energi yakni *maximum power point tracker* (MPPT). Dengan menggunakan MPPT maka energi yang diperoleh akan menjadi lebih optimal.

Pada siang hari, saat radiasi matahari yang cukup baik, baterai diisi untuk mencapai kondisi pengisian *state of charge* (SoC) yang maksimal. Dengan meningkatnya permintaan energi listrik hingga beban melebihi daya larik fotovoltaik yang terhubung, inverter baterai akan menyalurkan energi dari baterai ke beban dan akan berhenti beroperasi ketika SoC baterai sudah mencapai batas maksimal yang sudah ditentukan. Skema DC *coupling* ditunjukkan pada Gambar 2.5 dibawah ini:

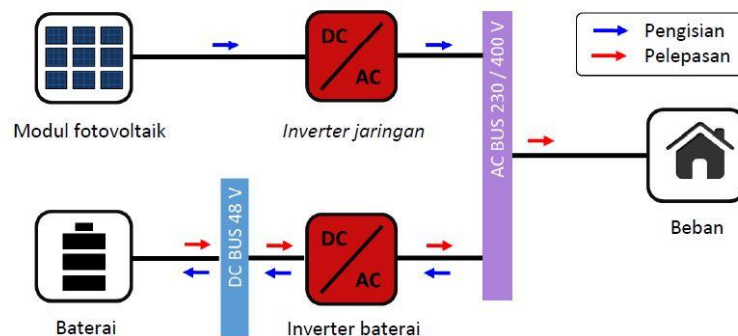


Gambar 2.5. Skema DC Coupling

(Sumber : Buku Instalasi PLTS Dos & Don'ts halaman 7)

2.2.6 Sistem AC Coupling

Inverter jaringan merupakan komponen utama yang membedakan antara sistem DC *Coupling* dengan AC *Coupling*. Pada sistem AC *Coupling*, modul fotovoltaik dan baterai terhubung dengan busbar AC melalui jaringan inverter dan inverter baterai. Modul fotovoltaik yang terhubung ke inverter jaringan mengubah tegangan dari DC ke AC. Sama dengan *charge controller*, inverter jaringan juga dilengkapi dengan MPPT yang berfungsi untuk mengoptimalkan penangkapan energi. Rangkaian modul fotovoltaik yang menghasilkan daya dapat langsung digunakan untuk beban pada siang hari, dan jika masih ada kelebihan daya dapat dimanfaatkan untuk mengisi baterai melalui inverter baterai pada saat yang sama.



Gambar 2.6. Skema AC Coupling

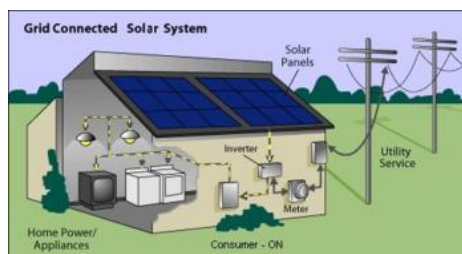
(Sumber : Buku Instalasi PLTS Dos & Don'ts halaman 7)

Pada Gambar 2.6 diatas menggambarkan skema AC *coupling*. Kelebihan lain dari sistem AC Coupling adalah kemudahan dalam pengembangan sistem (skalabilitas) dan kemampuan untuk langsung terhubung dengan jaringan listrik lain seperti PLN (fleksibilitas) karena koneksi PLTS terhubung pada sisi AC dimana sumber lain mayoritas adalah sumber listrik arus AC.

Sistem AC Coupling juga mempunyai keunggulan dalam memperpanjang umur baterai karena daya yang dihasilkan diprioritaskan untuk melayani beban, tidak seperti sistem DC Coupling yang lebih memprioritaskan pengisian baterai. Namun demikian untuk PLTS Fotovoltaik skala kecil <15 kWp, sistem DC Coupling lebih efisien karena umumnya PLTS kapasitas tersebut lebih diutamakan untuk melayani beban penerangan pada malam hari

2.2.7 Sistem *on grid*, *off grid*, dan *hybrid*

On grid system atau yang biasa disebut *grid tie system*, sistem ini menggunakan solar panel (panel *photovoltaic*) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS *on grid* ini tetap terhubung dengan jaringan utama yakni jaringan PLN, dengan memanfaatkan dan mengoptimalkan energi tenaga surya dari panel surya yang dikonversi menjadi energi listrik. Dengan sistem *on grid* ini maka dapat mengurangi biaya tagihan listrik rumah tangga bagi pemiliknya. PLTS *on-grid system* untuk perumahan ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *On-grid System*

(Sumber : <http://solarsuryaindonesia.com>)

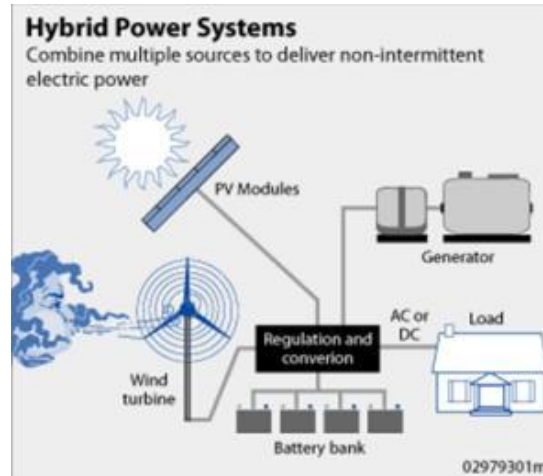
Selanjutnya, *off-grid system* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang biasanya digunakan di daerah-daerah terpencil yang belum dapat terjangkau oleh jaringan PLN. *Off grid system* atau biasa disebut *stand alone PV system* adalah sistem pembangkit listrik yang hanya menggunakan energi matahari sebagai sumber energi utama listrik dengan menggunakan *photovoltaic* modul untuk menghasilkan energi listrik yang dibutuhkan. Pada Gambar 2.8 menunjukkan skema PLTS *off-grid system* untuk rumahan.



Gambar 2.8. *Off-grid system*

(Sumber : <http://solarsuryaindonesia.com>)

Adapun *hybrid sytem* adalah penggunaan dua sistem atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Biasanya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk *hybrid* adalah pembangkit listrik tenaga surya, mikrohydro, tenaga angin. Daerah yang susah terjangkau oleh jaringan PLN, dapat menggunakan sistem *hybrid*. Sistem *hybrid* ini memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber utama energi listrik.



Gambar 2.9 *Hybrid System*

(Sumber : <http://solarsuryaindonesia.com>)

Dari ketiga sistem tersebut, pembedanya adalah pemakaian baterai untuk menyimpan energi listrik. Penggunaan baterai merupakan keharusan untuk PLTS *off-grid* karena PLTS menjadi sumber energi utama. Sedangkan, untuk sistem *on-grid*, penggunaan baterai bukan sebuah keharusan karena PLTS bukan merupakan sumber energi utama. Begitu pula dengan sistem *hybrid*, penggunaan baterai disesuaikan dengan penggunaan sumber energi utama yang digunakan. Jika sumber energi utamanya energi matahari, maka penggunaan baterai adalah sebuah keharusan, namun tidak seharus seperti sistem *off-grid*. Jika sumber utama energinya bukan energi matahari, maka penggunaan baterai disesuaikan dengan energi yang digunakan.

Pada penelitian ini, penulis akan membuat rancangan PLTS Fotovoltaik dengan sistem *of-grid* komunal. Sistem PLTS Komunal biasanya digunakan untuk daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN, namun pada penelitian ini penulis akan mencoba membuat rancangan PLTS Komunal di daerah yang sudah teraliri listrik PLN.

2.3 Pertimbangan Teknis PLTS Fotovoltaik Sistem Komunal

Daya yang dihasilkan panel surya maksimum diukur dengan besaran *Wattpeak* (Wp), yang konversinya terhadap *Watthour* (Wh) tergantung intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan panel. Selanjutnya daya yang dikeluarkan oleh panel surya adalah daya panel dikalikan lama penyinaran.

2.3.1 Pemilihan Konfigurasi Sistem

PLTS Fotovoltaik sistem komunal merupakan pembangkit yang dirancang untuk melayani beban untuk sekelompok masyarakat. Mengingat pada penelitian ini PLTS fotovoltaik direncanakan di daerah yang sudah teraliri listrik, PLTS ini digunakan sebagai sumber energi untuk fasilitas umum dan fasilitas sekolah. PLTS menggunakan sistem *off-grid* yang difungsikan sebagai sumber energi primer listrik. Oleh karena itu, alat sebagai penyimpanan energi yakni dalam bentuk baterai, dengan cadangan waktu penyimpanan minimal satu hari.

Sistem PLTS dan jaringan listrik PLN merupakan sumber energi yang menghasilkan arus listrik AC. Jadi sistem PLTS juga harus dengan mudah diinterkoneksi dengan jaringan PLN. Secara umum, pertimbangan pemilihan konfigurasi sistem sebagai berikut:

1. Fleksibilitas

Sistem PLTS harus mudah dihubungkan dengan jaringan PLN.

2. Skalabilitas

Kapasitas PLTS harus dapat ditambah dengan mudah apabila kebutuhan listrik siang hari meningkat karena geliat ekonomi akibat adanya PLTS

3. Stabil dan handal

Sistem yang digunakan dalam segala aspek perancangan PLTS harus sudah terbukti stabil dan dapat diandalkan.

2.4 Sistem Pemasangan Panel Surya

2.4.1 Pengukuran Radiasi Matahari

Dalam perancangan pembangkit listrik tenaga surya, pengukuran radiasi matahari di lokasi yang sudah ditentukan menjadi hal yang sangat penting diperhatikan. Radiasi matahari di permukaan bumi ada beberapa istilahnya, diantara lain:

1. *Direct normal irradiance (DNI)*

Direct normal irradiance (DNI) adalah jumlah iradiasi matahari yang selalu tegak lurus atau normal terhadap sinar yang datang dalam garis lurus dari arah matahari yang diterima per satuan luas oleh permukaan bumi. Nilai radiasi ini dapat memaksimalkan jumlah iradiasi setiap tahun yang diterima oleh permukaan dengan menjaganya agar tetap normal terhadap iradiasi yang masuk. Dengan demikian jumlah ini sangat berpengaruh dan bermanfaat untuk memusatkan panel surya supaya mendapatkan hasil yang maksimal.

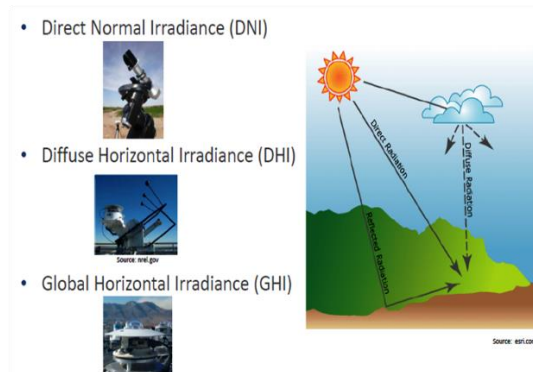
2. *Diffuse horizontal irradiance (DHI)*

Diffuse horizontal irradiance (DHI) adalah jumlah iradiasi yang diterima per satuan luas yang tidak sampai pada jalur langsung matahari, namun sudah tersebar ke semua arah oleh partikel atmosfer.

3. *Global horizontal irradiance (GHI)*

Global horizontal irradiance (GHI) adalah jumlah keseluruhan dari iradiasi matahari gelombang pendek yang diterima dari atas permukaan horizontal ke tanah. Dengan menggunakan nilai GHI sudah dapat melacak radiasi matahari karena nilai ini sudah mencakup nilai DHI dan DNI.

Pada Gambar 2.10 dibawah ini menunjukkan perbedaan antara DNI, DHI, dan GHI.



Gambar 2.10 Perbedaan DNI, DHI, dan GHI

(Sumber : www.firstgreenconsulting.com)

2.4.2 Instalasi Panel Surya

1. Letak panel surya

Letak panel surya yang akan dipasang berdampak pada temperatur panel surya, dan berpengaruh pada hasil iradiasi matahari yang diperoleh.

2. Kemiringan sudut penael surya

Kemiringan sudut panel surya memiliki pengaruh yang besar terhadap iradiasi matahari yang diperoleh. Pemasangan panel surya harus dengan menggunakan kemiringan sudut yang tetap dan tidak berubah-ubah. Dengan kemiringan sudut yang sama maka akan diperoleh hasil iradiasi matahari yang maksimal selama satu tahun. Secara umum untuk di Indonesia kemiringan sudut panel surya sekitar 15° .

3. Arah panel surya

Arah panel surya mengikuti lokasi penempatan panel surya dan besaran *azimuth*. *Azimuth* adalah besarnya sudut yang diapit oleh garis yang ditentukan dengan garis utara dan selatan. Apabila lokasi panel surya di belahan bumi selatan maka panel surya akan condong ke arah bumi bagian utara, begitu pula sebaliknya.

2.5 Komponen PLTS Fotovoltaik

Agar PLTS dapat berfungsi dengan baik, maka dalam suatu sistem terdapat beberapa macam komponen. Masing masing komponen tersebut mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Semuanya merupakan rangkaian kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Pada dasarnya, seluruh kompone-komponen tersebut mempunyai masa pemakaian (*life time*) yang baik. Komponen-komponen yang menyusun PLTS adalah:

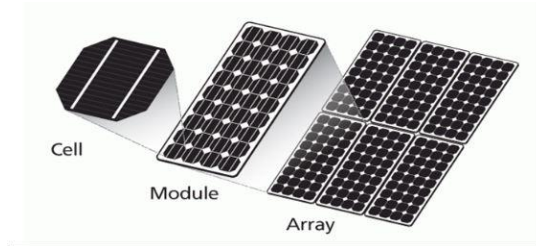
2.5.1 Modul/Panel Surya

Modul/panel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Dengan menambah modul/panel surya (memperluas) berarti menambah konversi energi surya. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari. Sebagai contoh, untuk daerah yang berada di sebelah selatan garis khatulistiwa maka modul surya harus dihadapkan ke selatan, dan sebaliknya.

Biasanya panel surya terdiri dari beberapa rangkaian sel surya yang dihubungkan secara seri ataupun paralel hingga dapat membentuk persegi atau persegi panjang sesuai dengan tempat yang ada. Setiap panel surya dirancang sehingga memiliki daya puncak yang spesifik. Pada umumnya sel surya apabila mendapatkan pancaran sinar radiasi matahari mampu menghasilkan tegangan listrik searah (*direct current*) sebesar 0,5 sampai nilai maksimal 1 volt, dan juga arus *short circuit*. Satu sel surya yang mengasilkan 0,5-1 volt tersebut baru dapat diaplikasikan langsung apabila sudah disusun sejumlah sel surya secara seri maupun paralel sehingga rangkaian sel surya tersebut membentuk sebuah satu satuan sel surya yang disebut panel surya.

Pada umumnya di daerah yang memiliki kondisi pancaran sinar matahari yang standar seperti di Indonesia, rata-rata panel surya terdiri dari 28-72 sel surya

yang dipasang secara seri maupun paralel menghasilkan tegangan DC sebesar 12-38 volt. Susunan panel surya untuk PLTS ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Susunan Panel Surya

(Sumber : www.suncyclopedia.com)

Dalam menentukan panel surya yang akan digunakan dalam perancangan sistem PLTS komunal harus dapat membandingkan dan memilih spesifikasi dari beberapa produsen panel surya. Pada tabel 2.1 menunjukkan beberapa perbandingan panel surya yang dapat digunakan.

Tabel 2.1 Perbandingan Panel Surya

<u>Manufaktur</u>	<u>Efisiensi</u>	<u>Sertifikasi</u>	<u>Harga</u>	<u>Kelebihan</u>
<u>Solarland</u> <u>(200 Wp)</u>	16%	- SNI 04- 3850.2-1995	Rp 3.100.000	- Anti Korosi
<u>Sankelux</u> <u>(200 Wp)</u>	16%	- SNI 04- 3850.2-1995	Rp 3.300.000	- Anti Korosi
<u>PT.Len Industri</u> <u>(200 Wp)</u>	16%	- SNI 04- 3850.2-1995 - SNI- 6298.2000 - ISO 9001 : 2008 - JSO 14001 : 2005	Rp 2.800.000	- Anti Korosi - Dapat bekerja saat hujan

2.5.2 Baterai

Baterai adalah alat yang digunakan untuk menyimpan energi yang dialiri aliran DC dari panel surya. Selain berfungsi untuk menyimpan energi tenaga DC, baterai juga berfungsi untuk mengkonversi energi kimia menjadi aliran listrik. Baterai terdiri dari dua jenis yakni baterai primer (*primary battery*) dan baterai sekunder (*secondary battery*). Baterai primer adalah baterai yang hanya dapat digunakan sekali, artinya setelah digunakan maka baterai tidak dapat diisi ulang atau tidak dapat digunakan kembali. Sifat yang dimiliki baterai primer ini disebabkan karena material elektroda tidak dapat berbalik arah jika dilepaskan. Berikut ini contoh penggunaan baterai primer, antara lain baterai *Alkaline*, baterai *Silver Oxide*, baterai seng karbon (*zinc-carbon*).

Sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang kembali. Apabila energi listrik pada baterai sekunder sudah habis, maka dapat diisi kembali dengan cara dicas (*charging*). Sifat yang dimiliki baterai sekunder berkebalikan dengan baterai primer, material elektroda dapat dikembalikan dengan arus berkebalikan. Pada saat sumber energi luar (*charger*) dihubungkan ke baterai sekunder, maka elektron akan mengalir dari kutub positif ke kutub negatif sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai. Sedangkan saat baterai terhubung dengan beban pada terminal baterai (*discharger*), elektron mengalir dari kutub negatif ke kutub positif.

Untuk sistem panel surya, baterai yang sesuai digunakan yakni baterai sekunder. Hal ini disebabkan karena dengan menggunakan tipe baterai sekunder ketika panel surya dalam kondisi tidak mendapat sinar radiasi matahari maka dapat memanfaatkan energi yang masih tersimpan pada baterai (*discharger*). Sedangkan saat panel surya mendapatkan sinar radiasi matahari, maka panel surya akan mengisi daya baterai (*charger*).

Ada dua tipe baterai sekunder yang lumrah diaplikasikan untuk sistem panel surya, yakni baterai *Li-ion* dan *Lead Acid*. Baterai *li-on* adalah baterai yang

bahan elektrodanya terbuat dari senyawa litium interkalasi, sedangkan baterai *lead acid* adalah baterai yang menggunakan asam timbal sebagai bahan kiminya. Baterai ini memiliki daya tahan yang tinggi dan tingkat penurunan daya saat tidak digunakan cukup rendah sehingga penggunaan baterai ini cocok dan dapat bertahan dalam kondisi apapun. Dan kemampuan untuk menyimpan daya lebih besar dan lebih lama.

Baterai *li-ion* memiliki daya tahan siklus yang lebih tinggi dan beban yang lebih ringan hanya 50%-60%, serta kapasitas yang lebih tinggi sekitar 60%-80% jika dibandingkan dengan baterai *lead acid*. Rasio *self-discharge* adalah sekitar 20% perbulan. Gambar 2.12 menunjukkan contoh gambar baterai *lead-acid*.



Gambar 2.12 Contoh baterai *Lead acid*

Sumber : (www.greentek.co.id)

2.5.3 Solar Charger Regulator

Solar Charger Regulator adalah peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charger regulator* mempunyai kemampuan untuk mengatur *overcharging* dan kelebihan voltase dari panel surya. Dampak dari kelebihan voltase akan mengurangi umur baterai. Teknologi *pulse width modulation* (PWM) digunakan pada *solar charge controller*, yang mempunyai fungsi untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya 12 volt pada umumnya memiliki tegangan output sebesar 16-21 volt.

Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan mudah mengalami kerusakan karena diakibatkan *over-charging* dan tegangan yang tidak stabil.

Baterai umumnya di-charge dengan tegangan 14-14,7 volt. Berikut ini adalah beberapa fungsi dari *solar charge controller*:

1. Mengatur arus yang dibebaskan atau diambil dari baterai agar baterai tidak “*full discharge*” dan *overloading*.
2. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
3. Untuk memonitor temperature baterai.

Ada beberapa yang harus diperhatikan dalam penggunaan *solar charge controller*, antara lain:

1. Tegangan 12 Volt DC / 24 Volt DC
2. *Full charge* dan *low voltage cut*
3. Kemampuan dari *controller*. Misalnya 5 ampere, 10 ampere, dsb.

Solar charge controller dikatakan baik apabila dapat mendeteksi kemampuan kapasitas baterai. Apabila baterai sudah terisi penuh maka otomatis pengisian arus dari panel surya terhenti. Cara pendeteksiannya adalah dengan cara monitor level tegangan baterai. *Solar charge controller* akan mengisi baterai sampai tevel tegangan yang sudah ditentukan, dan apabila terjadi drop tegangan maka baterai akan terisi kembali.

Solar charge controller terdiri dari : 1 *input* (2 terminal) yang terhubung dengan *output* panel surya. 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan baterai dan 1 *output* (2 terminal) yang terhubung dengan beban. Baterai yang menghasilkan arus listrik DC tidak dapat masuk ke panel surya karena ada “*diode protection*” yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai,

bukan dari baterai ke panel surya. Contoh *solar charger controller* dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Contoh *Solar Charger Controller*

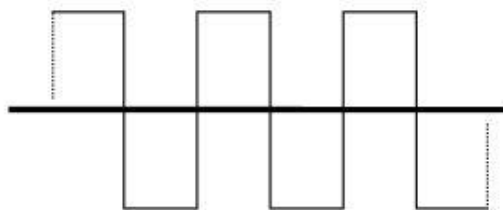
Sumber : (www.wholesolar.com)

2.5.4 Inverter

Inverter di dalam sistem PLTS berfungsi untuk mengubah arus searah (*direct current*- DC) yang dibangkitkan oleh sistem modul fotovoltaik dan baterai menjadi arus bolak balik (*alternating current* – AC), sehingga PLTS dapat dimanfaatkan sebagai penyedia energi listrik. Gelombang output yang dihasilkan tidak selalu sinusoida, tetapi ada beberapa macam gelombang output yang dihasilkan. Inverter diklarifikasi berdasarkan bentuk gelombang yang dihasilkan menjadi 3 macam, yaitu:

1. *Square wave inverter*

Bentuk *output* gelombang *square wave inverter* yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 2.14 sebagai berikut :



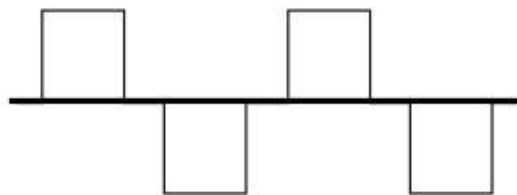
Gambar 2.14 Bentuk gelombang *square wave inverter*

(Sumber : Modul 1 Merancang Sistem PLTS Kemenristekdistri 2018,
halaman 34)

Efisiensi konversi *square wave inverter* sangat baik karena mencapai 98, selain mempunyai efisiensi yang tinggi juga di pasaran termasuk sangat murah. Namun demikian, jenis inverter ini tidak disarankan apabila digunakan untuk peralatan yang menggunakan motor listrik, karena dapat menimbulkan bunyi dan dapat menyebabkan motor panas.

2. *Modified sine-wave inverter*

Inverter jenis ini sering digunakan dan banyak di pasaran, *modified sine-wave inverter* adalah inverter yang menghasilkan gelombang kotak yang dimodifikasi. Harga inverter ini relatif murah dan juga memiliki efisiensi yang hampir sama dengan inverter *square wave*. Namun demikian, inverter jenis ini juga dapat menimbulkan *noise* yang mengganggu peralatan elektronik. Bahkan tidak jarang dapat tidak berfungsi jika digunakan untuk peralatan yang menggunakan *timer* seperti *light dimmer*, *charger* baterai, dll. Bentuk *output* gelombang *modified sine-wave inverter* ditunjukkan pada Gambar 2.15.

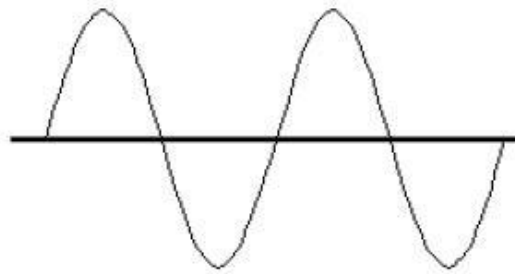


Gambar 2.15 Bentuk gelombang *modified sine wave inverter*

(Sumber : Modul 1 Merancang sistem PLTS Kemenristekdikti 2018,
halaman 35)

3. *Pure sine-wave inverter*

Inverter jenis ini mampu untuk menghasilkan listrik yang lebih handal dan tidak menimbulkan *noise*. Dengan menggunakan inverter ini, bahkan seringkali kualitas yang dihasilkan lebih baik dari listrik yang dihasilkan PLN. Dengan kelebihan tersebut sangat cocok untuk digunakan pada peralatan elektronik yang sensitif seperti motor dengan kecepatan bervariasi, peralatan audio visual, dll. Gambar 2.16 merupakan bentuk gelombang *pure sine wave inverter*.



Gambar 2.16 Bentuk gelombang *pure sine wave inverter*

(Sumber : Modul 1 Merancang Sistem PLTS Kemenristekdisti 2018,
halaman 35)

Dalam sistem PLTS penggunaan inverter dapat diklarifikasikan mejadi tiga kategori yakni : *grid inverter*, *stand-alone inverter*, dan aplikasi khusus. Berikut adalah penjelasan tentang 3 kategori inverter dalam sistem PLTS:

1. *Grid inverter* adalah inverter yang secara langsung mengkonversikan arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), dan dapat langsung dihubungkan dengan jaringan PLN. Jenis inverter ini biasanya tidak menggunakan baterai.
2. *Stand-alone inverter* adalah inverter yang dapat mengubah arus searah (DC) yang berasal dari baterai. Arus pada modul fotovoltaik digunakan untuk mengisi baterai terlebih dahulu sebelum dikonversikan menjadi arus bolak-

balik (AC). Biasanya inverter ini digunakan untuk penyediaan listrik secara *isolated* atau mandiri.

3. Inverter khusus, inverter untuk aplikasi khusus merupakan inverter yang dirancang untuk suatu aplikasi yang khusus atau spesifik ke dalam sistem penggunaannya. Inverter jenis ini tidak menggunakan baterai sehingga dapat langsung terhubung dengan modul fotovoltaik (*direct coupling*). Contoh inverter yang diproduksi oleh *Schneider Electric* ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Contoh inverter merk *Schneider*

Sumber : (www.schneiderelectric.com)

2.6 Persamaan Perhitungan Perancangan PLTS

2.6.1 Persamaan Perhitungan Panel Surya

Dalam merancang sebuah PLTS maka dibutuhkan perhitungan untuk mengetahui kapasitas PLTS, energi yang dihasilkan PLTS, jumlah panel surya, dan penentuan pemasangan panel surya, maka dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

- a. Untuk mengetahui kapasitas PLTS yang dibutuhkan maka dapat menggunakan persamaan 2.1 berikut:

$$P_{Wp} = \frac{W}{t_{ins} \times k_{ef}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

P_{Wp} = Kapasitas PLTS (kWp)

W = Kebutuhan energi (Wh)

t_{ins} = Kelas radiasi

K_{ef} = Koefisien PLTS

- b. Untuk mengetahui energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat menggunakan persamaan 2.2 berikut:

Energi dihasilkan = Kapasitas Maks \times Lama penyinaran \times koefisien (2.2)

- c. Berikut persamaan 2.3 digunakan untuk mengetahui jumlah panel surya yang dibutuhkan:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{\text{Kebutuhan energi}}{\text{Energi yang dibutuhkan}} \quad (2.3)$$

- d. Berikut persamaan 2.4 dan 2.5 digunakan untuk menentukan rangkaian seri dan paralel panel surya yang akan dipasang

$$\text{Panel surya seri} = \frac{\text{Tegangan minimal input inverter}}{\text{Tegangan output panel surya}} \quad (2.4)$$

$$\text{Panel surya paralel} = \frac{\text{Arus maksimal inverter}}{\text{Tegangan output panel surya}} \quad (2.5)$$

2.6.2 Analisis Perhitungan Solar Charge Controller (SCC)

Dalam perancangan PLTS dibutuhkan perhitungan untuk mengetahui jumlah *solar charge controller* (SCC) yang dibutuhkan, pada persamaan 2.6 menunjukkan persamaan yang digunakan untuk mengetahui jumlah SCC yang dibutuhkan.

$I_{sc} = I_{sc} \text{ Panel} \times N \text{ Panel Paralel} \times 125\%$, setelah nilai I_{sc} diketahui maka menghitung jumlah SCC yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$N_{sc} = \frac{I_{SCC}}{\text{Arus SCC}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

Isc	= Arus Solar Charge Controller (SCC)
N Panel Paralel	= Jumlah panel surya diparalel
Isc Panel	= Arus panel surya
125%	= Nilai Kompensasi
N SCC	= Jumlah SCC yang dibutuhkan
Arus SCC	= Kapasitas arus maksimal SCC

2.6.3 Analisis Perhitungan Baterai

Dalam perancangan PLTS, dibutuhkan perhitungan untuk mengetahui kapasitas baterai yang digunakan. Pada persamaan 2.7 berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mengetahui jumlah kapasitas baterai yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned}
 \text{Baterai (kWh)} &= \frac{\text{Jumlah otonomi sistem} \times \text{Total daya perhari (kWh)}}{\text{Efisiensi Baterai}} \\
 \text{Baterai (Ah)} &= \text{Baterai kWh} \times \frac{100}{\text{Nominal Tegangan Baterai}} \\
 \text{Kapasitas Baterai} &= \frac{\text{Baterai Ah}}{\text{DoD}} \quad (2.7)
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Baterai} &= 0,9 \\
 \text{Depth of Discharge (DoD)} &= 0,9
 \end{aligned}$$

2.6.4 Analisis Perhitungan Inverter

Dalam perancangan PLTS, dibutuhkan perhitungan untuk mengetahui jumlah inverter yang dibutuhkan. Berikut ini adalah persamaan 2.8 menunjukkan persamaan yang digunakan untuk mengetahui jumlah inverter yang dibutuhkan.

$$\text{Jumlah inverter} = \frac{N \text{ Panel Surya} \times \text{Kapasitas Maksimal Panel Surya}}{\text{Kapasitas Inverter}} \quad (2.8)$$

2.6.5 Analisis Perhitungan Proteksi

1. Proteksi *Combiner Box*

Untuk menentukan fuse yang digunakan untuk masing-masing *string* panel surya menggunakan persamaan 2.9 berikut:

$$\begin{aligned}\text{Rating Tegangan} &= 1,2 \times (\text{Voc} \times \text{Panel surya seri}) \\ \text{Rating Arus} &= 1,4 \times \text{Isc}\end{aligned}\quad (2.9)$$

Untuk menentukan fuse yang digunakan pada panel array menggunakan persamaan 2.10 berikut:

$$\text{Rating arus} = 1,4 \times \text{Isc} \times \text{Panel surya seri} \quad (2.10)$$

Keterangan :

1,2 = Nilai koefisien rating tegangan

1,4 = Nilai koefisien rating arus

Isc = Arus panel surya (A)

Untuk menentukan kabel yang digunakan dapat menggunakan persamaan 2.11 berikut:

$$I_{KHA} = I_n \times 1,25 \quad (2.11)$$

Keterangan :

I_{KHA} = Arus penghantar (A)

I_n = Nilai Rating arus (A)

2. Proteksi Panel Distribusi DC

Untuk menentukan rating fuse yang digunakan pada sambungan SCC ke baterai dapat menggunakan persamaan 2.12 berikut:

$$I_{fuse} = I_{SCC} \times 100\% \quad (2.12)$$

Untuk menentukan rating MCB pada sambungan SCC ke baterai dapat menggunakan persamaan 2.13 berikut:

$$I_{MCB} = I_{sc} \times 1,25 \quad (2.13)$$

Untuk menentukan rating fuse yang digunakan pada sambungan inveter ke baterai dapat menggunakan persamaan 2.14 berikut:

$$I_{fuse} = I_n \times 1,25 \quad (2.14)$$

Keterangan:

$$I_{fuse} = \text{Rating fuse (A)}$$

$$I_{SCC} = \text{Arus output maksimal SCC (A)}$$

$$I_{MCB} = \text{Rating MCB (A)}$$

$$I_n = \text{Arus input inverter (A)}$$

3. Proteksi Panel Distribusi AC

Untuk menentukan rating *circuit breaker* (CB) pada sambungan *output* tiap inverter dapat menggunakan persamaan 2.15 berikut:

$$I_{CB} = I_n \times 1,25 \quad (2.15)$$

Untuk menentukan rating *circuit breaker* (CB) pada sambungan *output* sistem 3 *phase* dapat menggunakan persamaan 2.16 berikut:

$$I_{CB} = 3 \times I_n \times 1,25$$

Keterangan :

$$I_{CB} = \text{Rating arus circuit breaker (A)}$$

$$I_n = \text{Nilai output inverter (A)}$$

$$1,25 = \text{Koefisien nilai arus}$$

2.6.6 Analisis Perhitungan Ekonomi

1. Biaya pemakaian listrik PLTS

Untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan dalam penggunaan listrik PLTS dapat menggunakan persamaan 2.16 berikut:

$$\text{Biaya} = \frac{(\text{Biaya Investasi} + \text{Biaya Ganti baterai}) + (\text{Biaya Operasional} \times 20 \text{ tahun})}{20 \text{ Tahun}}$$

2. Biaya pemakaian listrik PLN

Untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan dalam penggunaan listrik PLN setiap satu bulan dapat menggunakan persamaan 2.17 berikut:

$$\text{Biaya perbulan} = \text{jumlah energi} \times \text{Rp } 1.467,28 \times 30 \text{ hari}$$

Keterangan:

$$\text{Rp } 1.467,28 = \text{nilai tarif dasar listrik } 3500 \text{ VA PLN}$$

2.7 Pedoman Pembangunan PLTS Fotovoltaik Terpusat

PLTS fotovoltaik terpusat diprioritaskan untuk pelayanan listrik kepada masyarakat pengguna yang tinggal berkelompok atau yang rumahnya saling berdekatan satu sama lain. Untuk membangun atau merancang PLTS Fotovoltaik terpusat sudah ada pedoman dan peraturannya dari Kementerian Energi Sumber Daya Mineral dalam PERMEN ESDM Nomor 3 Tahun 2017. Secara umum komponen PLTS harus memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Panel Surya

- Jenis modul : *Mono/Polycrystalline*
- Kapasitas per modul : minimal 200 Wp
- Efisiensi panel : lebih dari 16%
- Wajib menggunakan produk dalam negeri, dan wajib melampirkan tanda capaian tingkat komponen dalam negeri dari Kementerian Perindustrian Republik Indonesia dengan nilai lebih dari 40%.
- Sertifikasi Pengujian : B2TKE-BPPT

- Masa pakai : ± 20 tahun dengan degradasi 1% pertahun.

2. Solar Charger Controller

- Daya keluaran total minimal disesuaikan dengan kapasitas keluaran pembangkit.
- Jumlah inverter : minimal 2 unit.
- Tegangan masukan : minimal 48 Vdc.
- Gelombang keluaran : sinus murni
- Efisiensi : $\geq 95\%$
- *Total Harmonic Distortion* : $\leq 5\%$
- Garansi : minimal 5 tahun
- Sistem proteksi : beban berlebih, hubungan arus singkat, *reverse polarity, under/over voltage*
- Fitur : *battery temperature sensor, battery equalization, interface* dengan RMS.

3. Inverter

- Daya keluaran total minimal disesuaikan dengan kapasitas pembangkit.
- Tegangan masukan : minimal 48Vdc.
- Tegangan keluaran : 3/N/PE; 230/400 VAC, 50 Hz, satu fasa/tiga fasa.
- Gelombang keluaran : sinus murni
- Efisiensi : $\geq 95\%$
- *Total Harmonic Distortion* : $\leq 5\%$
- Sistem proteksi : *Overload, short circuit, over temperature, over/under voltage*
- Dapat bekerja secara paralel
- Garansi : 5 tahun.

- Fitur : sensor temperature baterai , *interface* dengan RMS.

4. Baterai

- Jenis baterai : *Valve Regulated Lead Acid (VRLA)* , *OPzV stationary battery*.
- Tegangan keluaran : minimal 48 VDC.
- Kapasitas : 1000Ah, 2V
- Temperatur operasional : dibawah 30°C
- *Deep cycle , life cycle* minimal 2200 pada DOD (*Depth of Discharge*) 80%.

5. Sistem Pengkabelan dan *Grounding*

- Kabel daya dari *combiner box* ke *solar charger regulator* menggunakan kabel NYFGbY/NYRGbY dengan luas penampanganya menyesuaikan besar arus.
- Kabel daya dari baterai ke inverter, tipe NYAF dengan diameter menyesuaikan besar arus.
- Kabel daya dari inverter ke panel distribusi, tipe NYY dengan diameter menyesuaikan besar arus.
- Setiap penyambungan kabel harus menggunakan terminal kabel dan konekor.
- Sistem *grounding* dari penyangga PV *array* menggunakan penghantar tipe NYY *yellow green* 35 mm².

6. *Combiner box*

- Interkoneksi dari masing-masing panel dikelompokkan dan disatukan pada *combiner box*.
- *Combiner box* diletakkan pada tempat yang aman dari guyuran hujan,

- Dilengkapi dengan *isolator switch* dan *surge protection*. Semua setting arus dan tegangan disesuaikan dengan kapasitas daya keluaran dari panel *array*.

7. Panel distribusi

- Panel distribusi harus dilengkapi dengan saklar utama/pemisah, pembatas arus *mini circuit breaker* (MCB), *earth leak circuit breaker* (ELCB), saklar terminal, dan busbar.
- Tegangan sistem : 220/230 Vac untuk 1 fasa, atau 380/400 Vac untuk 3 fasa
- Sistem proteksi : *fuse* dan *circuit breaker*, *surge protection* untuk 220V/380VAC.
- Kabel instalasi : kabel jenis NYY.

8. *Remote monitoring system* (RMS)

- Fitur : GPRS, *interface* dilengkapi dengan koneksi RS-485.
- Sistem komunikasi : 3G, GPRS/WIFI
- Parameter, data, dan informasi dari sistem PLTS dibutuhkan untuk analisa kehandalan fungsi dan jumlah energi yang dihasilkan. Maka dari itu, RMS harus tersedia.