

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut penelitian I K. Agus Setiawan, dkk (2014), mengenai Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1 MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli menyatakan bahwa potensi optimum yang berasal dari produksi energi listrik per tahunnya yang dapat dihasilkan oleh PLTS Kayubih tanpa adanya faktor *shading* yaitu sebesar 1656 MWh, dengan rasio performa (PR) sebesar 93,6 %. Berdasarkan hasil simulasi PVSyst menunjukkan bahwa produksi energi listrik PLTS Kayubih selama kurun waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013 lebih kecil dibanding dengan potensi optimum produksi energi listrik yakni sebesar 729,08 MWh dengan selisih sebesar 32,3 % terhadap hasil simulasi sebesar 1076,94 MWh. Penyebab produksi energi listrik PLTS Kayubih tidak optimum yaitu adanya perbedaan iklim radiasi dan rendahnya iradiasi matahari yang diterima oleh panel surya akibat adanya *shading*, serta gangguan yang terjadi pada sistem PLTS yang menyebabkan penurunan performa PLTS Kayubih selama kurun waktu operasi 15 Februari s.d. 30 September 2013 yakni 3,202 jam per hari, dengan faktor kapasitas (CF) sebesar 13,34 %, dibanding dengan hasil simulasi yakni 4,686 jam per hari dengan CF 19,53 %.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Rangkuti dan Ramadhan (2016), mengenai Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti menyatakan bahwa area yang memiliki luas 855 m² akan dipasang *solar cell* yang memiliki kapasitas 300 WP berjumlah 312 panel serta dilengkapi dengan *inverter* 20 kW berjumlah 5 unit. Berdasarkan hasil perhitungannya maka daya output yang dapat dihasilkan per bulan yaitu sebesar 10786,2 kWh dan daya output yang dihasilkan setiap tahunnya yaitu sebesar 131.232,1 kWh. Biaya untuk investasi awal yang digunakan untuk PLTS ini yaitu sebesar Rp 2.869.777.544 dan biaya pemeliharaan serta operasional yaitu sebesar Rp 28.697.775.

Sedangkan pada penelitian Syukri, M. Dan Suriadi (2010), mengenai Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu berbasis Aplikasi PVSyst pada Komplek Perumahan di Banda Aceh menyatakan bahwa dalam perancangan PLTS ini menggunakan data insolasi matahari terendah yang berasal dari data BMG Aceh 2009-2010 yakni pada bulan november sebesar 2,48 h. Pada satu gardu distribusi akan membutuhkan daya per hari yaitu sebesar 26.927 Wh maka dibutuhkan sebanyak 60 panel surya dan 30 buah baterai yang memiliki total kapasitas sebesar 1500 Ah, BCR yang berkapasitas 500 A serta *inverter* dengan kapasitas sebesar 12 kW. Energi yang dapat dihasilkan dari panel surya per harinya akan bergantung pada nilai insolasi matahari. Pada insolasi terendah menghasilkan daya output sebesar 29.620 Wh sedangkan insolasi tertinggi menghasilkan daya output sebesar 65928 Wh.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 PLTS Fotovoltaik

Menurut I K. Agus Setiawan, dkk (2014) Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik atau biasa disebut PLTS Fotovoltaik merupakan sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi sinar matahari sebagai sumber energinya yaitu dengan cara memanfaatkan iradiasi cahaya matahari (teknologi fotovoltaik) yang akan menghasilkan energi listrik yang kemudian akan dialirkan melalui jaringan menuju ke pengguna. PLTS Fotovolatik memanfaatkan energi cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC yang kemudian akan diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan.

Untuk menghitung jumlah kapasitas sistem PLST dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P = \frac{W}{t_{ins} \times k_{ef} \times \text{eff. modul}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

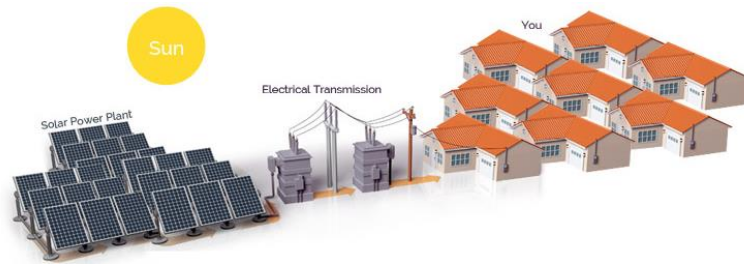
P (kWp) = Kapasitas PLTS

W (kWh) = Kebutuhan Energi

t_{ins} = Kelas Iradiasi (SNI IEC 04-6394-2000)

Koef. PLTS (K_{ef}) = 0,8 (*Photovoltaics Systems Engineering Second Edition, 2003*)

Eff. Modul = 88,5% (Bagus Ramadhani, 2018)



Gambar 2.1 Ilustrasi PLTS Fotovoltaik
(sumber : oliytechsolar.com)

Secara umum PLTS Fotovoltaik terdiri dari beberapa komponen utama yaitu, generator sel surya (PV generator) yang berupa susunan modul surya pada suatu sistem penyangga, *inverter* untuk mengubah arus DC menjadi arus AC, *solar charge controller* dan baterai untuk sistem penyimpanan PLTS serta sistem kontrol dan monitoring operasi PLTS.

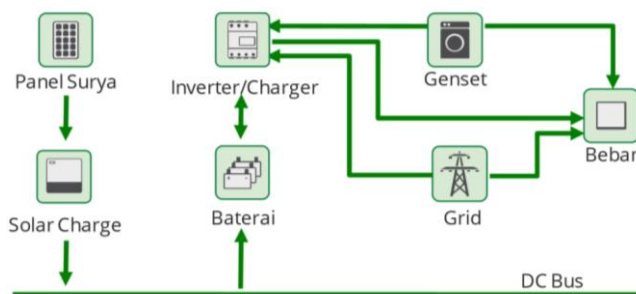
Faktor utama yang dapat mempengaruhi produksi energi listrik pada PLTS Fotovoltaik yaitu iradiasi matahari, temperatur modul surya, dan *shading* yang terjadi selama sistem beroperasi. Iradiasi matahari akan mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan dari PLTS, temperatur modul surya akan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh PLTS, dan *shading* akan mempengaruhi iradiasi matahari yang diterima panel surya pada proses pembangkitan yang dapat mempengaruhi performa dari PLTS.

2.2.2 Konfigurasi PLTS Fotovoltaik

Menurut Ismail G. (2018) PLTS Fotovoltaik secara umum mempunyai 2 macam konfigurasi yaitu konfigurasi DC Coupling dan konfigurasi AC Coupling. Sistem PLTS Fotovoltaik ini terdiri dari dua macam sistem listrik yakni DC dan AC. Saat sistem ini menggunakan baterai maka keluaran dari panel surya akan menghasilkan dua poin koneksi. Keluaran dari panel surya tersebut dapat dihubungkan ke bagian DC ataupun bagian AC dari sistem listrik. Pengaplikasian dari kedua sistem konfigurasi ini yang akan membedakan perangkat yang akan kita gunakan.

2.2.2.1 Konfigurasi DC Coupling

Dalam konfigurasi sistem DC Coupling, keluaran dari panel surya tersebut akan menuju ke *solar charge controller* dan menuju ke busbar DC yang kemudian akan mengisi baterai. Kemudian arus listrik DC akan diubah menjadi arus listrik AC dengan menggunakan *inverter/charger (bi-directional inverter)* dan siap digunakan untuk perangkat yang menggunakan arus listrik AC. Dalam konfigurasi sistem DC Coupling, *inverter* sangat berperan penting karena penghubung semua sumber listrik yang kemudian akan mengisi baterai karena semua proses harus melalui *inverter/charger*. Pada gambar 2.2 berikut merupakan skema konfigurasi sistem DC Coupling:

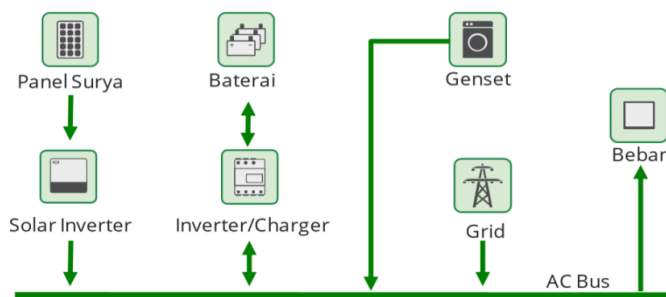


Gambar 2.2 DC Coupling

(sumber : hexamitra.co.id)

2.2.2.2 Konfigurasi AC Coupling

Sementara itu pada konfigurasi sistem AC Coupling, keluaran dari panel surya tersebut akan menuju ke solar *inverter*. Hasil dari solar *inverter* sudah berbentuk arus listrik AC dan menuju ke busbar AC. Kemudian dari busbar AC listrik yang dihasilkan tadi dapat digunakan langsung untuk perangkat yang menggunakan arus listrik AC. Pada gambar 2.3 berikut merupakan skema konfigurasi sistem AC Coupling:



Gambar 2.3 AC Coupling
(sumber : hexamitra.co.id)

Untuk sistem yang menggunakan baterai, *inverter/charger* (*bi-directional inverter*) akan dihubungkan dengan busbar AC. Dalam keadaan normal maka *inverter/charger* akan mengisi baterai, sedangkan dalam keadaan membutuhkan energi yang lebih dikarenakan energi yang dihasilkan panel surya kurang, maka *inverter/charger* akan mengubah arus listrik DC dari baterai menjadi arus listrik AC sehingga dapat membantu kekurangan energi tadi. Pada sistem konfigurasi AC Coupling semua perangkat memiliki fungsi yang sama.

2.2.3 Sistem Off-Grid, On-Grid, dan Hybrid

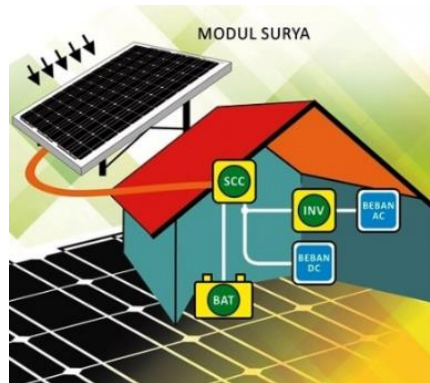
Menurut Sianipar R. (2014) secara umum tipe desain sistem PLTS terdiri 3 (tiga) macam, yaitu PLTS Off-Grid (sistem PLTS yang tidak

terhubung dengan grid/berdiri sendiri, PLTS On-Grid (sistem PLTS yang terhubung dengan grid/sistem eksisting, dan PLTS Hybrid (sistem PLTS yang terhubung dengan satu atau beberapa pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi primer yang berbeda.

2.2.3.1 Sistem PLTS Off-Grid

Sistem PLTS Off-Grid merupakan sistem yang penyuplainya berasal dari panel surya saja tanpa ada sumber pembangkit jenis lainnya misalnya PLTD. Sistem ini hanya bergantung pada sinar matahari seutuhnya, karena panel surya tidak mungkin mendapatkan sinar matahari sepanjang hari. Sehingga sistem ini membutuhkan media penyimpanan energi yakni baterai. PLTS Off-Grid difokuskan untuk menyuplai daerah yang sangat terisolasi dimana sarana transportasi sangat sulit dijangkau. Maka, jika dibangun PLTD di lokasi tersebut akan timbul kesulitan dalam membawa BBM.

Dalam menentukan kapasitas dari panel surya dan baterai harus dilakukan secara akurat. Pada umumnya kapasitas dari baterai harus ditambah agar dapat mengatasi jika suatu hari tidak ada sinar matahari (berawan). Dalam perencanaan sistem ini, kapasitas PV harus menyuplai beban minimal nilai tingkat radiasinya rata-rata 1 kW/m^2 dan mampu mengisi baterai dengan jumlah energi yang dibutuhkan pada periode *discharge*. Lama waktunya pengisian baterai bergantung pada lamanya penyinaran sinar matahari secara efektif atau peak sun hour (PSD) periode yakni sekitar 3-4 jam/hari.



Gambar 2.4 Skema Sistem Off-Grid
(sumber : suryautamaputra.co.id)

2.2.3.2 Sistem PLTS On-Grid

Sistem PLTS On-Grid diprioritaskan untuk lokasi yang telah memiliki listrik dan beroperasi di siang hari. Sistem ini terhubung dengan sistem eksisting. Tujuan utama dari sistem PLTS On-Grid yaitu untuk mengurangi penggunaan BBM.

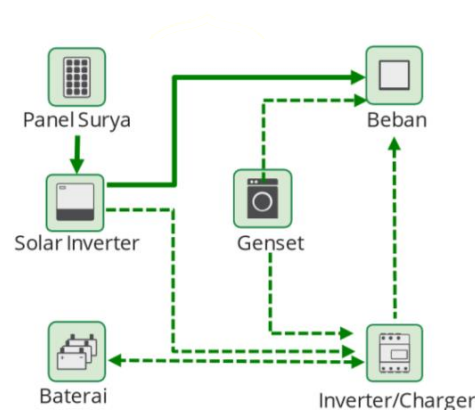
Sistem ini tidak dilengkapi dengan baterai. Agar PLTS On-Grid pada sistem induknya tetap stabil, maka kapasitasnya dari sistem ini dibatasi maksimum sebesar 20% dari beban pada siang hari. Inverter pada sistem ini memiliki kemampuan melepaskan hubungan pada saat grid kehilangan tegangan atau biasa disebut dengan On Grid Inverter.



Gambar 2.5 Skema Sistem On-Grid
(sumber : suryautamaputra.co.id)

2.2.3.3 Sistem PLTS Hybrid

Sistem PLTS Hybrid merupakan PLTS yang pengoperasiannya terhubung dengan PLTD yang sudah ada pada lokasi tersebut. Pada sistem ini juga diharapkan mampu berkontribusi secara maksimal untuk menyuplai beban di lokasi tersebut khususnya pada siang hari. Agar sistem pada PLTS ini tidak mengalami gangguan maka PLTS ini harus dilengkapi baterai sebagai buffer atau stabiliser. Diharapkan dengan adanya baterai, PV dapat memberikan daya dan energi kepada beban selama periode siang hari (*hours of sun*). Dalam menentukan kapasitas dari panel surya harus mempertimbangkan kemampuan dari panel surya untuk mengisi baterai pada saat menyuplai beban jika nilai iradiasi matahari yang dihasilkan diatas rata-rata.



Gambar 2.6 Skema Sistem Hybrid

(sumber : hexamitra.co.id)

2.3 Sistem Perancangan PLTS Fotovoltaik

2.3.1 Pengukuran Radiasi Matahari

Pada saat perancangan kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang tepat, maka kita harus melakukan pengukuran nilai iradiasi matahari di lokasi yang direncanakan. Berikut ini merupakan istilah-istilah dalam iradiasi matahari di permukaan bumi:

2.3.1.1 Direct Normal Irradiance (DNI)

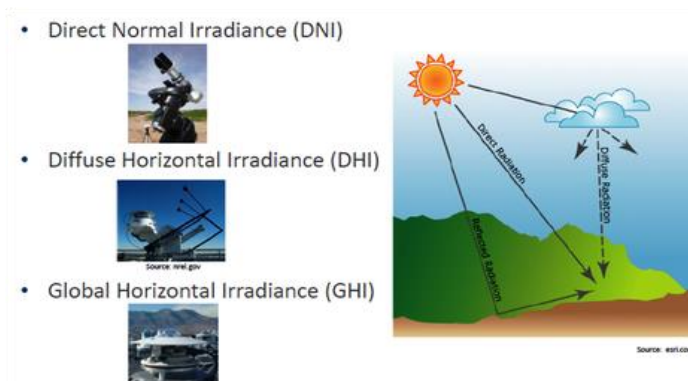
Direct normal irradiance (DNI) adalah jumlah iradiasi matahari yang diterima per satuan luas oleh permukaan bumi yang selalu tegak lurus atau normal terhadap sinar yang datang dalam garis lurus dari arah matahari. Nilai ini dapat memaksimalkan jumlah iradiasi setiap tahun yang diterima oleh permukaan 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.

2.3.1.2 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.

2.3.1.3 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 2.7 Perbedaan DNI, DHI dan GHI

(sumber : esri.com)

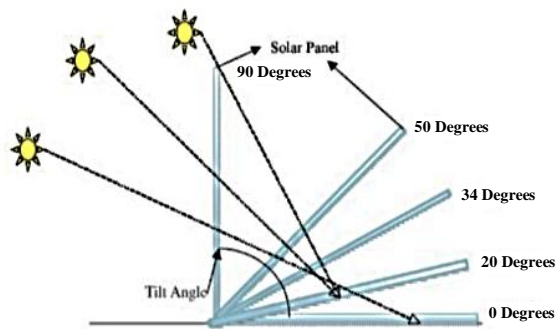
2.3.2 Teknik Pemasangan Panel Surya

2.3.2.1 Letak Panel Surya

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

2.3.2.2 Sudut Kemiringan

Penentuan sudut kemiringan pada panel surya mempunyai pengaruh yang besar terhadap iradiasi matahari pada permukaan panel surya. Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Sudut Kemiringan Panel Surya

(sumber : pveducation.com)

Sudut kemiringan dari panel surya yang ditetapkan sebesar 15° mengacu pada standar SNI IEC 04-6394-2000, agar memudahkan pembersihan panel surya dari air hujan serta mendapatkan nilai iradiasi yang optimal.

2.3.2.3 Arah Panel Surya

Penentuan arah panel surya yang dilakukan mengikuti besaran *azimuth* dari lokasi penelitian. Besaran *azimuth* yang didapatkan merupakan besarnya sudut yang diapit oleh garis yang ditentukan berdasarkan garis lintang utara dan lintang selatan (dihitung menurut perputaran jarum jam mulai dari titik utara dengan limit 0° - 360°).

Untuk perhitungan jarak yang digunakan antar panel array dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$h = x \times \sin(\theta) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$D' = \frac{h}{\tan(a)} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$D = D' \times \cos(\psi) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

D' = Jarak bayangan maksimal

D = Jarak antar panel *array* minimal

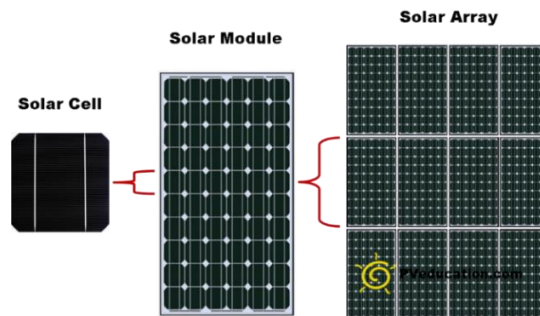
2.4 Komponen PLTS Fotovoltaik

2.4.1 Panel Surya

Panel surya merupakan rangkaian dari beberapa sel surya yang terhubung secara seri ataupun paralel yang disusun sedemikian rupa hingga berbentuk persegi ataupun persegi panjang, dilaminasi dan dilapis dengan kaca khusus serta diberi penguat rangka atau *frame* pada keempat sisinya. Setiap panel surya dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai daya puncak yang spesifik. Ketika panel surya terkena pancaran sinar matahari maka secara umum satu sel surya akan menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 0,5 sampai dengan 1 volt serta arus *short-circuit*. Besar tegangan dan arus yang dihasilkan tersebut tidak dapat diaplikasikan secara langsung maka sel surya akan disusun secara seri dan juga paralel sehingga membentuk sebuah set yang disebut panel surya.

Secara umum, panel surya terdiri dari 28 hingga 72 sel surya, yang dapat menghasilkan tegangan listrik searah (DC) sebesar 12 hingga 38 volt dalam keadaan sinar matahari standar. Sejumlah panel surya dikonfigurasi secara seri maupun paralel yang akan membentuk sistem yang disebut panel *array*.

Ada 2 (dua) jenis panel surya yang paling populer yakni tipe *monocrystalline* dan tipe *polycrystalline*. Masing-masing tipe memiliki efisiensi yang berbeda. Tipe *monocrystalline* memiliki nilai efisiensi sebesar 15-20% dan tipe *polycrystalline* sebesar 13-18%.



Gambar 2.9 Panel Surya

(sumber : pveducation.com)

Untuk menghitung jumlah solar panel yang digunakan pada sistem PLTS Fotovoltaik dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{\text{Kapasitas Total PLTS}}{\text{Kapasitas Panel Surya}} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.4.2 Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengontrol daya dan tegangan yang akan masuk ke baterai dari panel surya. Komponen ini akan memastikan baterai tidak terisi secara berlebihan pada siang hari, dan daya tidak kembali menuju ke panel surya pada malam hari dan menguras baterai.

Secara umum, terdapat 2 (dua) SCC yang digunakan pada sistem panel surya, yaitu PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Tipe MPPT dianggap sebagai pengendali yang paling efisien sekarang, karena tipe MPPT bekerja pada tingkat efisiensi yang lebih tinggi daripada tipe PWM. Tipe PWM bekerja pada tingkat efisiensi 75-80% sedangkan MPPT bekerja pada

tingkat efisiensi 92-95%. Berikut adalah contoh gambar solar charge controller merek schneider.



Gambar 2.10 *Solar Charge Controller*
(sumber : solar.schneider-electric.com)

Untuk menghitung kebutuhan *solar charge controller* pada sistem PLTS Fotovoltaik dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$SCC = \frac{\text{Kapasitas Total PLTS (kWp)}}{\text{Output SCC (kW)}} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.4.3 Inverter

Inverter merupakan komponen elektronik yang berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). *Inverter* nantinya akan mengubah arus listrik searah (DC) dari komponen seperti baterai, panel surya arus listrik bolak-balik (AC). Berikut merupakan contoh gambar inverter merek schneider.



Gambar 2.11 Inverter

(sumber : solar.schneider-electric.com)

2.4.4 Baterai

Baterai merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Baterai terbagi menjadi dua jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Pada sistem PLTS baterai yang digunakan adalah baterai jenis sekunder.

Baterai sekunder merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang atau *rechargeable battery*. Baterai pada PLTS memiliki fungsi untuk menyimpan kelebihan daya dari PLTS yang selanjutnya akan digunakan untuk memberikan daya listrik ke sistem ketika daya tidak disediakan oleh panel surya. Jenis baterai sekunder yang sering dipakai untuk kapasitas yang besar seperti baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) atau sering disebut SLA (*Sealed Lead Acid*) dan Li-Ion (*Lithium- Ion*) dikarenakan baterai VRLA tidak memerlukan perawatan (*maintenance free*) sedangkan baterai Li-Ion dapat menyimpan daya lebih lama dan lebih besar. Dibawah ini merupakan contoh baterai yang sering digunakan pada sistem PLTS yaitu sebagai berikut.



Gambar 2.12 Baterai

(sumber : solar.schneider-electric.com)

Untuk menghitung kapasitas baterai untuk sistem PLTS Fotovoltaik dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Baterai (kWh)} = \frac{\text{Otonomi sistem} \times \text{Total daya per hari (kWh)}}{\text{Effisiensi}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

Otonomi sistem = Cadangan baterai 2 hari jika tidak ada cahaya matahari

Effisiensi = Effisiensi baterai x Effisiensi Penghantar

Eff. baterai = 0,85 (Bagus Ramadhani, 2018)

Eff. penghantar = 0,98 (Bagus Ramadhani, 2018)

$$\text{Baterai (Ah)} = \text{Baterai (kWh)} \times \frac{1000 \text{ V}}{\text{Nominal tegangan}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Kapasitas baterai} = \frac{\text{Baterai (Ah)}}{\text{DOD}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

Depth of Discharge (DOD) = 80% (Permen ESDM No. 36 Tahun 2018).