

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Photovoltaic* sudah dilakukan oleh banyak pihak. Berikut ini adalah beberapa rujukan penelitian mengenai PLTS *Photovoltaic* yang dapat dijadikan sebagai bahan acuan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Tri Suhartanto (2014) melakukan penelitian tentang Analisis Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) di Pantai Baru, Pandansimo, Bantul, Yogyakarta. Analisis ini dilakukan dengan cara memodelkan rancangan PLTH yang ada ke dalam sebuah aplikasi HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) versi 2.68. Analisis ini dilakukan melalui dua skema sistem, yakni *Off-Grid* dan *on grid*. Melalui skema sistem *Off-Grid* hasil pengamatan menunjukkan bahwa PLTH *Off-Grid* sangat layak dengan total nilai NPC sebesar 307.302 *dollar*, biaya COE sebesar 0,872/kWh, dengan kapasitas produksi energi sebesar 121.239kWh/tahun. Melalui skema sistem PLTH *on grid* hasil pengamatan menunjukkan bahwa PLTH *on grid* dapat meningkatkan efektifitas dengan nilai NPC sebesar 253.850 *dollar* dengan biaya COE senilai 0,720 *dollar*. Kemampuan penjualan energi listrik pertahunnya sebesar 94.705kWh. Skema sistem PLTH *on grid* juga menunjukkan bahwa skema sistem ini dapat mengurangi faktor emisi karbon dioksida sebesar 31.557Kg/tahun.

Suriadi dan Mahdi Syukri (2010), Jurusan Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala melakukan penelitian tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan *Software* PVSYST pada Komplek Perumahan di Banda Aceh. Hasil dari penelitian ini adalah untuk perencanaan PLTS yang akan dipasang pada perumahan hendaknya perlu diperhatikan spesifikasi dan kapasitas dari keseluruhan komponen. Pada perencanaan ini kebutuhan beban rumah tangga yang diperlukan sebesar 26,927kWh/hari. Panel surya yang digunakan bekapasitas 200Wp, baterai

sejumlah 30 buah dengan kapasitas 100Ah, *Battery Charge Regulator* (BCR) kapasitas 500A, dan Inverter kapasitas 12.000W.

Nurhadi, Mochammad Ali M., Daif Rahuna, dan Sutopo P. Fitri (2017) melakukan penelitian tentang Model Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Giliyang, Madura. Berdasarkan pengamatan dan analisis terlihat bahwa energi yang dibutuhkan di Pulau Giliyang, Madura adalah sebesar 1.984kWh. Model dan desain dari PLTS adalah sistem *Off-Grid* dengan solar panel sejumlah 780 buah dengan kapasitas total sebesar 1MWp. Kebutuhan lahan dan area sebesar 3000m<sup>2</sup> dengan perkiraan intensitas penyinaran sebesar 800Watt/m<sup>2</sup>. Jumlah baterai yang digunakan sejumlah 504 buah dengan spesifikasi 24VDC 200Ah sebagai sarana penyimpanan energi yang diproduksi.

Elisier Tarigan dan Fitri Dwi Kartikasari (2017) melakukan penelitian tentang Analisis Potensi Atap Bangunan Kampus Sebagai Lokasi Penempatan Panel Surya Sebagai Sumber Listrik. Penelitian ini berfokus untuk mensimulasikan potensi energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada atap bangunan kampus Universitas Surabaya sebagai sampel atap bangunan yang lain di wilayah yang sama. PLTS ini menggunakan sistem PLTS *Grid Connected* dimana hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat area seluas 10.353m<sup>2</sup> yang dapat digunakan untuk pemasangan Panel Surya. Energi yang dapat dihasilkan adalah sebesar 1.030kWp.

Febri Afrianto (2018) dari Universitas Muhammadiyah Yogyakarta melakukan penelitian tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* Diatap Parkiran Motor Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. PLTS sistem *Off-Grid* di desain untuk kebutuhan energi listrik pada gedung admisi univ muhammadiyah Yogyakarta, tetapi PLTS *Off-Grid* ini dirancang untuk tidak memperhitungkan beban yang terdapat pada gedung admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Akan tetapi memperhitungkan luas area yang akan dimanfaatkan untuk peletakan komponen dan material PLTS *Off-Grid*. Pada perancangan ini mula mula harus mengidentifikasi area yang akan dipasang oleh sistem PLTS *Off-Grid* ini. Lalu

dibuatlah rancangan yang pas dan tepat sesuai kebutuhannya. Kemudian memperhitungkan jumlah anggaran biaya yang dikeluarkan dalam proses perancangan maupun pemasangan PLTS *Off-Grid* ini. Tak lupa memperkirakan energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS *Off-Grid* ini. Luas area yang dimanfaatkan untuk pemasangan PLTS *Off-Grid* ini adalah  $\pm 1.192 \text{ m}^2$  dari luas area total  $\pm 3.365 \text{ m}^2$ . Jumlah Panel Surya 280 buah dengan kapasitas masing masing 120Wp dengan sistem 48V. Spesifikasi Baterai 336 buah 12 V, 200A. *Solar Charge Controller* 60A dengan jumlah 14 buah. Inverter kapasitas 10.000W 14 buah. Perkiraan daya yang dapat diproduksi oleh sistem PLTS *Off-Grid* ini adalah sebesar 134,4kWh per tahunnya. Sedangkan perkiraan anggaran investasi yang dibutuhkan sebesar Rp. 2.234.014.063 dengan biaya operasional per tahun sebesar Rp. 17.872.112,5.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Photovoltaic* (PLTS *Photovoltaic*)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu sistem pembangkitan energi listrik yang sumber energinya berasal dari pancaran atau radiasi sinar matahari. Dalam perkembangannya hingga saat ini PLTS dapat dikategorikan menjadi dua kelompok utama yakni PLTS berbasis *Heliothermal* dan PLTS berbasis *Helioelectric*.



Gambar 2.1. *Concentrated Solar Power*. PLTS berbasis *Heliothermal*.  
(Sumber: <https://www.abc.net.au/news/2017-08-14/solarreserve/8805016>)

PLTS *Heliothermal* adalah PLTS yang memanfaatkan energi kalor atau panas yang dipancarkan oleh matahari untuk kemudian difokuskan dan memanaskan fluida/zat cair hingga mendidih dan memiliki tekanan. Tekanan akibat pemanasan zat cair inilah yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan memutar generator untuk membangkitkan energi listrik.

Sedangkan PLTS *Helioelectric* adalah PLTS yang memanfaatkan suatu energi elektromagnetik foton matahari untuk menghasilkan energi listrik melalui bahan semikonduktor. Umumnya bahan semikonduktor ini disebut juga dengan sel surya atau *Photovoltaic*. Sel Surya adalah suatu lapisan semikonduktor yang jika terpapar sinar matahari dimana terdapat energi elektromagnetik foton, maka kondisi elektron pada semikonduktor tersebut dapat berpindah dan menghasilkan energi listrik. Sel surya ini dapat menghasilkan energi yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sel surya bisa dikatakan energi yang bersih serta ramah lingkungan.



Gambar 2.2. Panel Surya *Photovoltaic*. PLTS berbasis *Helioelectric*.  
(Sumber: <https://www.yelp.com/biz/golden-gate-Photovoltaic-solar-san-lorenzo>)

### 2.2.2 Prinsip Kerja Sel *Photovoltaic* (Sel Surya)

Prinsip kerja sel *Photovoltaic* atau sel surya dalam menghasilkan energi listrik adalah sebagai akibat dari adanya pergerakan atau perpindahan elektron bebas pada material penyusun sel *Photovoltaic* tersebut. Sel *Photovoltaic* dibuat dari material atau bahan semikonduktor dimana bahan tersebut jika mendapatkan sinar matahari yang memiliki energi elektromagnetik foton nilai konduktifitasnya akan meningkat.

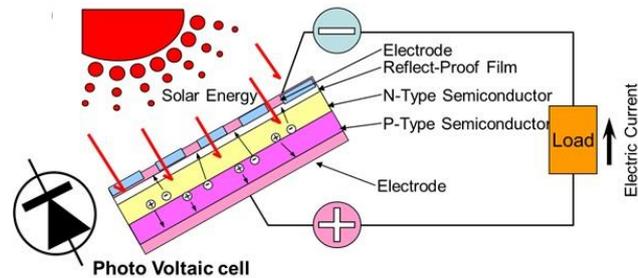
Sel *Photovoltaic* terbuat dari material semikonduktor yakni Silikon. Dalam susunan sel *Photovoltaic* terdapat dua tipe silicon penyusunnya, yakni silicon tipe n (N-Type Semikonduktor) dan silicon tipe p (P-Type Semikonduktor).

Silicon tipe n adalah silicon yang mendapat tambahan material tertentu yakni Fosfor dengan jumlah tertentu. Karena mendapat tambahan material fosfor, maka silicon tipe n ini akan memiliki elektron bebas yang tidak memiliki pasangan. Sementara Silicon tipe p adalah silicon yang mendapat tambahan material tertentu yakni boron dengan jumlah tertentu. Karena mendapatkan material boron, maka silicon tipe p ini akan memiliki satu buah *hole* dimana ia membutuhkan suatu elektron untuk mengisi *hole* nya.

Jika kedua tipe silicon ini digabungkan bersama, maka beberapa elektron di sisi n akan bermigrasi ke sisi p dan saling berpasangan di daerah pertemuannya. Daerah ini disebut dengan daerah deplesi, dimana batas di sisi n akan menjadi sedikit bermuatan positif dan batas sisi p akan sedikit bermuatan negatif. Akibatnya medan listrik secara alami akan terbentuk.

Ketika cahaya matahari yang mengandung energi elektromagnetik foton menyinari sisi paling atas, yakni sisi n dan menembus ke daerah deplesi, maka pasangan elektron dan hole pada daerah deplesi akan terlepas. Proses terlepasnya elektron dan hole di daerah deplesi ini diikuti oleh pergerakan elektron maupun holenya itu sendiri, dimana *hole* akan tertarik ke sisi p dan elektron akan tertarik ke sisi n. karena konsentrasi elektron di sisi n meningkat dan konsentrasi *hole* sisi p juga meningkat, maka

perbedaan potensial akan terjadi. Segera ketika kita menghubungkan sisi n dan p, maka elektron akan mengalir kembali menuju ke sisi p dan menghasilkan listrik dengan arus searah.



Gambar 2.3. Susunan Lapisan Sel Suya *Photovoltaic*.

(Sumber: <https://slideplayer.com/slide/2516449/>)

### 2.2.3 PLTS *Photovoltaic* Sistem *Off-Grid*

Berdasarkan pemanfaatan dan konfigurasi sistemnya, secara umum Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Photovoltaic* dapat diklasifikasikan menjadi dua. Yakni Sistem PLTS yang tidak terkoneksi dengan jaringan listrik yang ada (*Off-Grid Photovoltaic Plant*) atau istilah lain yakni *stand alone*/berdiri sendiri dan Sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik yang ada (*On Grid Photovoltaic Plant*).

Sistem PLTS *Photovoltaic Off-Grid* murni mengandalkan energi matahari sebagai sumber utama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik suatu beban. Sistem PLTS *Photovoltaic Off-Grid* ini adalah suatu alternatif untuk menyediakan pasokan energi listrik di daerah terpencil maupun di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Sulitnya akses mobilisasi peralatan jaringan listrik, biaya investasi maupun operasional yang tinggi mengakibatkan suatu daerah yang terpencil kesulitan mendapatkan akses energi listrik. Sehingga sistem PLTS *Photovoltaic Off-Grid* menjadi salah satu solusi dari permasalahan ini.

Secara umum skema pengoperasian Sistem PLTS *Photovoltaic Off-Grid* adalah sebagai berikut:

- Pagi hari sampai dengan menjelang siang.  
Saat pagi hari dimulai dari munculnya sinar matahari, maka kebutuhan energi listrik untuk beban mulai berkurang dan panel *Photovoltaic* mulai menghasilkan energi listrik yang kemudian sebagian besar disimpan ke dalam baterai.
- Siang hari sampai dengan menjelang sore hingga malam.  
Saat siang hari dimana intensitas penyinaran matahari mulai tinggi, maka baterai mulai terisi dengan cepat dan secara bertahap kemudia baterai terisi penuh.
- Malam hari sampai dengan menjelang pagi.  
Saat malam hari, maka panel *Photovoltaic* sudah tidak membangkitkan energi. Sedangkan beban-beban yang ada mendapatkan energi listrik yang disuplai oleh baterai yang sebelumnya sudah terisi penuh.

## **2.2.4 Komponen-Komponen PLTS *Photovoltaic* Sistem *Off-Grid***

### **2.2.4.1 Sel *Photovoltaic* (Sel Surya)**

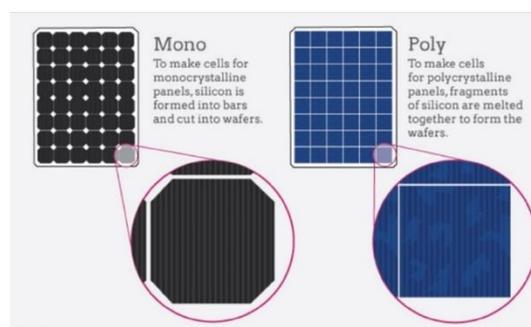
Sel *Photovoltaic* adalah unsur penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Sel ini dibuat dari material semikonduktor yakni silicon. Sel *Photovoltaic* memiliki luas sekitar 10 s.d. 15 cm<sup>2</sup>. Ketika mendapat pancaran sinar matahari, ia akan menghasilkan listrik dengan arus searah atau *Direct Current* (DC). Arus listrik ini dapat langsung dipakai untuk peralatan atau beban yang membutuhkan listrik arus searah atau disalurkan menuju inverter dan diubah menjadi listrik arus bolak balik untuk peralatan atau beban yang membutuhkan listrik arus bolak balik.

Sel *Photovoltaic* ini adalah komponen terkecil dari panel *Photovoltaic*. Sel *Photovoltaic* ini membangkitkan energi listrik yang sangat kecil. Oleh sebab itu beberapa sel *Photovoltaic* dapat digabungkan secara seri maupun paralel menjadi sebuah komponen modul *Photovoltaic* maupun panel *Photovoltaic*.

Hingga saat ini perkembangan sel *Photovoltaic* terus mengalami kemajuan. Para insinyur maupun ilmuwan terus menerus berlomba untuk menciptakan sel *Photovoltaic* dengan efisiensi yang tinggi. Jenis jenis Sel *Photovoltaic* yang umum digunakan untuk pembangkit listrik tenaga surya adalah *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*.

Jenis *Monocrystalline* memiliki efisiensi yang sangat tinggi yakni sekitar 17 s.d. 24 persen. Selain itu ukuran dimensi dari jenis *Monocrystalline* ini lebih ramping. Namun kelemahan sel *Photovoltaic* jenis ini adalah harganya yang masih dianggap mahal imbas dari proses pengolahannya yang sangat rumit. Selain itu kelemahan lainnya adalah sel *Photovoltaic* jenis ini tidak berfungsi dengan baik atau efisiensinya menurun drastic saat intensitas penyinaran matahari menurun akibat cuaca mendung dan berawan.

Jenis *Polycrystalline* memiliki efisiensi yang lebih rendah yakni sekitar 15 s.d. 18 persen serta memiliki ukuran dimensi yang lebih besar jika dibandingkan dengan jenis *Monocrystalline*. Akan tetapi sel *Photovoltaic* jenis ini memiliki keunggulan yakni harganya yang lebih murah serta masih dapat bekerja secara optimal saat cuaca mendung atau berawan.

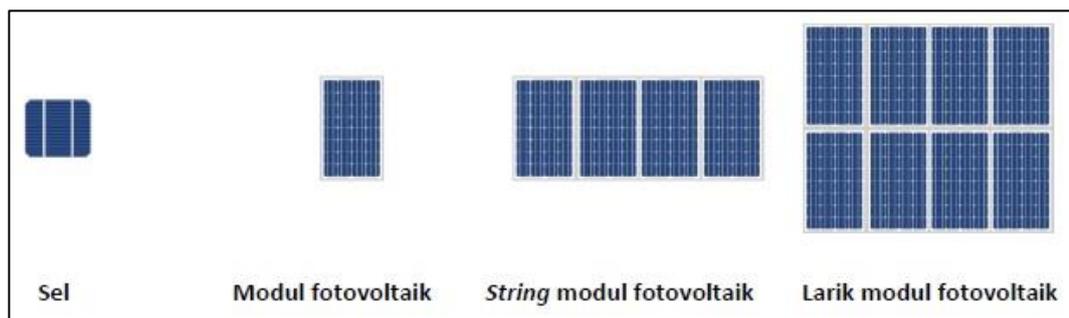


Gambar 2.4. Panel Surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*.  
(Sumber: <https://lifetimesolar.com/2018/04/06/monocrystalline-polycrystalline-which-solar-panels-right-home-business/>)

### 2.2.4.2 Modul *Photovoltaic*, *String Photovoltaic*, dan *Array Photovoltaic*.

*Photovoltaic module* atau modul surya adalah suatu susunan atau komponen dari sejumlah sel *Photovoltaic* yang dirangkai secara seri, paralel, maupun kondisi keduanya dengan tujuan untuk menciptakan tegangan maupun daya listrik yang diinginkan oleh sistem. Dengan kata lain kumpulan sel sel *Photovoltaic* membentuk modul *Photovoltaic* atau panel *Photovoltaic* itu sendiri.

*String Photovoltaic* adalah susunan modul atau panel *Photovoltaic* secara seri menyerupai tali (*String* dalam bahasa Inggris memiliki makna tali). Sedangkan *Array Photovoltaic* adalah susunan keseluruhan dari semua modul atau panel *Photovoltaic*. *Array Photovoltaic* umumnya tersusun dari beberapa *string Photovoltaic*.



Gambar 2.5. Modul *Photovoltaic*, *String Photovoltaic*, dan *Array Photovoltaic*.

(Sumber: Panduan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dos & Don'ts)

#### 2.2.4.4.1 Perhitungan Potensi Energi PLTS *Photovoltaic*

Untuk Menentukan Energi yang dapat dihasilkan oleh modul surya atau panel *Photovoltaic* pada PLTS *Photovoltaic* terlebih dahulu harus mengetahui berapa jumlah panel yang akan digunakan dan mengetahui Max Power Panel Surya tersebut, untuk dapat mengetahui berapa jumlah max power pada panel surya kita dapat melihat pada label spesifikasi yang biasanya terletak pada sisi balik panel surya maupun *Data Sheet* atau buku petunjuk yang disertakan bersama-sama dengan modul *Photovoltaic*.

Perlu diketahui bahwasannya setiap panel surya memiliki Spesifikasi dan karakteristik yang berbeda-beda. Selain itu diketahui pula bahwa

intensitas radiasi sinar matahari maupun suhu penyinaran matahari pada setiap daerah berbeda-beda. Untuk merencanakan pemasangan PLTS *Photovoltaic* yang baik, parameter ini perlu diperhatikan.

$$E_L = PV\ Area \times G_{av} \times TCF \times \eta_{PV} \quad ^1$$

$E_L$	= Potensi Energi Listrik (kWh)
$PV\ Area$	= Total Luas Permukaan Panel Surya ( $m^2$ )
$G_{av}$	= Intensitas matahari harian ( $kWh/m^2/hari$ )
$TCF$	= <i>Temperature Coefficient Factor</i> (%)
$\eta_{PV}$	= Efisiensi Panel Surya (%)

#### 2.2.4.3 Solar Charge Controller

*Solar Charge Controller* (SCC) adalah salah satu komponen yang sangat penting dalam sistem PLTS *Photovoltaic*. Ketika panel *Photovoltaic* memproduksi dan menghasilkan energi listrik, maka terdapat parameter-parameter berupa tegangan dan arus yang akan masuk melewati komponen lain seperti Baterai dan inverter. Parameter-parameter ini perlu di atur sedemikian rupa agar komponen yang lainnya tidak mengalami kerusakan.

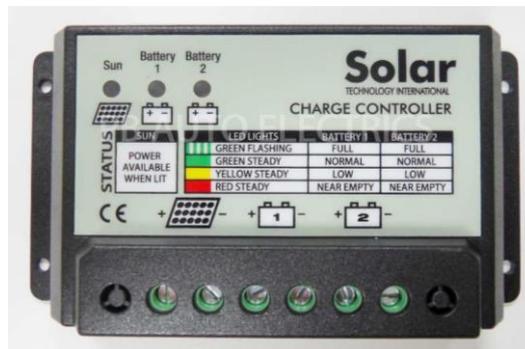
*Solar Charge Controller* berfungsi mengatur arus dan tegangan listrik baik yang berasal dari panel *Photovoltaic* maupun arus dan tegangan yang keluar menuju baterai serta inverter. Arus dan tegangan dari panel *Photovoltaic* diatur sedemikian rupa agar dapat dimaksimalkan sehingga efisien. Sedangkan arus dan tegangan yang keluar menuju baterai serta inverter diatur sedemikian rupa agar baterai dan inverter dapat terlindungi dari pengisian yang berlebih atau *overcharge* maupun tegangan yang berlebih atau *overvoltage*.

---

<sup>1</sup> Subhan Nafis, dkk. *Analisis Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Sistem Ketenagalistrikan Nias*, Jakarta, 2015, hlm 90.

Fitur yang umum terdapat pada *Solar Charge Controller* adalah sebagai berikut.

1. Memutus arus listrik saat baterai sudah terisi penuh sehingga baterai tidak mengalami *overcharge*. Manfaatnya adalah umur baterai semakin lama dan terhindar dari kerusakan dini.
2. Memutus arus listrik menuju inverter saat baterai sudah mulai dan hampir habis atau dalam keadaan kosong. Pada beberapa tipe *Solar Charge Controller*, terdapat indikator penggunaan baterai yang dapat di atur sedemikian rupa sehingga baterai tidak mengalami *overdischarge*.
3. Beberapa tipe *Solar Charge Controller* sudah dilengkapi layar indikator secara digital yang menampilkan parameter-parameter pada sistem PLTS *Photoltaic* yang lengkap sehingga dapat diamati secara aktual.

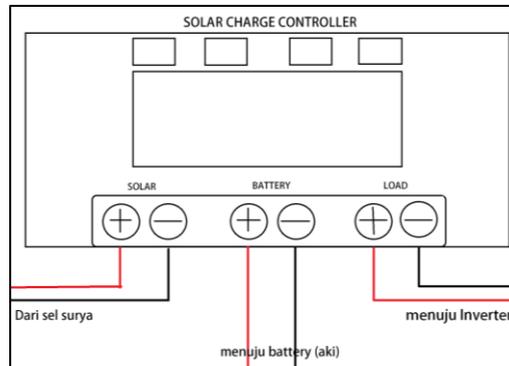


Gambar 2.6. *Solar Charge Controller*.

(Sumber: <https://pbautoelectronics.co.uk/shop/dual-battery-solar-charge-controller-10ah-stcc10/>)

Satu input (2 terminal) *Solar charge controller* terhubung dengan keluaran pada panel surya, dan satu output (2 terminal) *Solar charge controller* terhubung dengan baterai lalu satu output (2 terminal) yang terhubung dengan beban. Baterai memiliki arus listrik DC yang tidak dapat masuk ke panel surya dikarenakan dari panel surya menuju baterai terdapat '*diode protection*' yang hanya dapat melewatkan arus listrik DC, bukan sebaliknya. Ukuran (atau rating) suatu alat pengontrol arus masuk dan

keluar dari baterai ditentukan berdasarkan satuan Ampere (Muhammad Fahmi Hakim, 2017).



Gambar 2.7. Terminal pada *Solar Charge Controller*.

(Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/2017/01/cara-memasangkan-panel-surya-PLTS.html>)

Kebutuhan *Solar Charge Controller* dapat dihitung berdasarkan karakteristik dan parameter Panel *Photovoltaic* yang dapat dilihat dari keterangan spesifikasi dari Panel *Photovoltaic* yang ada di balik panel maupun *Data Sheet* yang disertakan. Berikut rumus untuk menghitung kapasitas *Solar Charge Controller*.

$$I_{sc} > I_{sc} \text{ Panel} \times N \text{ Panel Paralel} \times 125\% \quad ^2$$

$I_{sc}$  = Arus SCC.

$I_{sc}$  panel = Arus yang terdapat pada panel surya.

$N$  panel paralel = Jumlah kelompok panel yang diparalel.

125% = Kompensasi.

Berikut rumus untuk menghitung berapa kebutuhan *Solar Charge Controller* (SCC) yang akan digunakan. (Muhammad Fahmi Hakim. 2017)

<sup>2</sup> Bagus Ramadhani, *Panduan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dos & Don'ts*, Jakarta, 2018, hlm 4-4.

$$N_{SCC} = I_{SCC} / \text{Arus SCC}$$

$N_{SCC}$  = Jumlah SCC yang akan digunakan.

$I_{SCC}$  = Arus SCC.

Arus SCC = Kapasitas Maksimal Arus SCC yang akan digunakan.

#### 2.2.4.4 Baterai

PLTS *Photovoltaic* sangatlah tergantung dengan cukupnya energi sinar matahari yang diterima dan dikonversikan menjadi energi listrik. Sementara itu sinar matahari tidak selamanya terus menerus menyinari setiap hari. Adakalanya cuaca mendung dan berawan. Maka pasokan energi sinar matahari sewaktu-waktu dapat berkurang. Selain itu, penggunaan energi listrik oleh beban juga tidak selamanya saat pagi, siang, maupun sore hari. Melainkan juga pada malam hari yang notabene penggunaan energi listrik justru meningkat dan mencapai puncaknya. Maka diperlukan suatu sarana penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel *Photovoltaic*. Sarana penyimpanan energi listrik ini adalah berupa baterai.



Gambar 2.8. Baterai tipe *Lead Acid*.

(Sumber: <http://solarsuryaindonesia.com/panduan/tips-dalam-pemeliharaan-baterai-awet-untuk-sistem-tenaga-surya>)

#### 2.2.4.4.1 Jenis-Jenis Baterai

Baterai yang akan digunakan pada sistem PLTS *Photovoltaic* umumnya memiliki karakteristik seperti awet, tahan lama, minim perawatan, dan berkapasitas besar. Oleh sebab itu baterai yang digunakan untuk keperluan sistem PLTS *Photovoltaic* umumnya berbeda dengan baterai yang biasa kita jumpai, misalnya pada kendaraan seperti motor maupun mobil.

Secara umum baterai dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yakni baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang siklus penggunaannya hanya satu kali atau *single use battery*. Sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang siklus penggunaannya dapat berulang kali dan dapat diisi ulang atau *rechargeable battery*. Oleh sebab itu sistem PLTS *Photovoltaic* menggunakan baterai kelompok sekunder.

Baterai kelompok sekunder ini terbagi lagi menjadi 2 bagian, yakni *Lithium-Ion Battery* dan *Lead Acid Battery*. *Lithium-Ion Battery* atau biasa disingkat dengan *Li-Ion Battery* merupakan baterai dengan senyawa Lithium interkalasi sebagai bahan elektrodanya. Baterai ini mempunyai ketahanan yang terbilang tinggi dengan daya penyimpanan yang lebih lama dan lebih besar. Sedangkan *Lead Acid Battery* merupakan baterai dengan Asam Timbal (*Lead Acid*) sebagai bahan kimia elektrodanya.



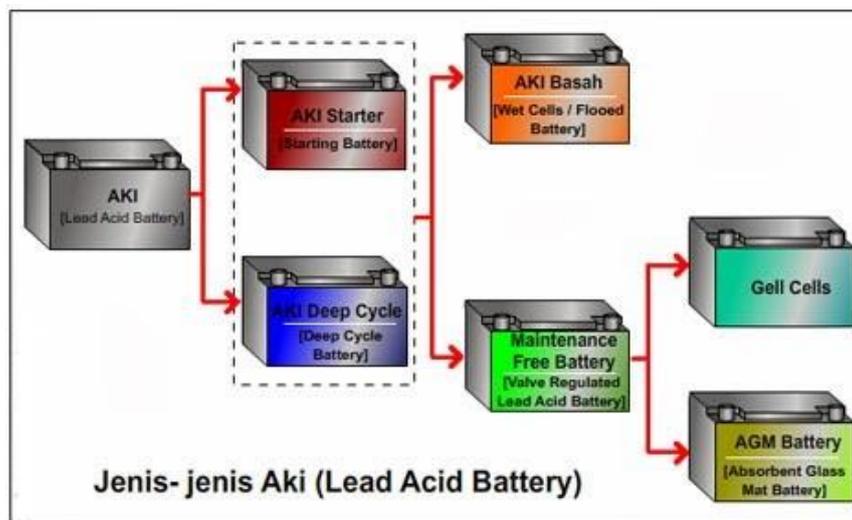
Gambar 2.9. Baterai tipe *Lithium-Ion*.

(Sumber: <https://www.access12voltwarehouse.com.au/solarking-200ah-12v-lithium-ion-lifepo4-deep-cycle-battery.html>)

Secara umum, Lead Acid Battery terbagi menjadi 2, yakni *Starting Battery* dan *Deep Cycle Battery*. *Starting Battery* atau biasa disebut dengan *Automotive Battery* merupakan baterai yang umumnya digunakan untuk proses starting mesin kendaraan bermotor. Baterai ini dapat menghasilkan arus yang tinggi sehingga dapat menyalakan mesin-mesin kendaraan. Namun kapasitas baterai yang dapat digunakan umumnya kecil hanya 10-20% dari kapasitas nominalnya.

Sedangkan *Deep Cycle Battery* merupakan jenis baterai yang dirancang agar dapat menghasilkan arus listrik yang stabil serta konstan dan dalam jangka waktu yang lama. Baterai jenis *Deep Cycle Battery* memiliki daya tahan terhadap siklus pengisian (*charge*) dan pelepasan (*discharge*) yang berulang-ulang.

Baterai Li-Ion memiliki ketahanan dan daya penyimpanan yang lebih lama serta lebih besar dari jenis baterai lainnya. Baterai tipe ini sangat cocok dipakai pada sistem PLTS *Photovoltaic*. Namun hanya saja harganya masih terbilang cukup mahal. Masih terbilang sedikit sekali PLTS *Photovoltaic* yang menggunakan baterai tipe ini. Sementara *Lead Acid Battery* tipe *Starting* tidak cocok karena arus yang dihasilkan terlampau tinggi. Sedangkan *Lead Acid Battery* tipe *Deep Cycle* umumnya banyak dipakai dalam sistem PLTS *Photovoltaic*. Alasannya adalah terkait dengan karakteristik yang dianggap paling sesuai dengan kebutuhan PLTS *Photovoltaic* selain harganya yang tentu lebih murah dibandingkan Baterai tipe Li-Ion.



Gambar 2.10. Jenis-Jenis *Lead Acid Battery*.

(Sumber: <https://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/09/Lead-Acid-Battery-Mengenal-jenis-jenis-aki.html>)

Ada 2 jenis *Deep Cycle Battery* yang umumnya digunakan pada sistem PLTS *Photovoltaic*:

#### 1. *Flooded Lead Acid Battery (FLA)*

Baterai ini dikenal dengan istilah lain sebagai *Wet Battery*, *Wet Cell*, atau *Flooded Battery*. Di pasaran di Indonesia dikenal dengan nama aki basah, merujuk pada cell cel di dalamnya yang terendam oleh cairan elektrolit. Level cairan elektrolit ini harus senantiasa diatas lambing batas minimumnya. Jika kurang bisa ditambahkan melalui lubang atau katup untuk pengisian elektrolitnya. Jenis ini paling sering dijumpai di sekitar kita.

#### 2. *Valve-Regulated Lead Acid Battery (VLRA)*

Baterai jeni ini juga dikenal dengan nama *Sealed Lead Acid Battery* atau *Sealed Maintenance Free Battery*. Tampilan fisik baterai ini berbeda dengan baterai FLA. Baterai tipe ini tidak terdapat lubang katup untuk pengisian elektrolit. Yang terlihat dari luar hanyalah terminal positif dan negatifnya saja. Desain tertutup

ini mencegah zat elektrolit menguap atau bocor dan berkurang. Oleh sebab itu baterai ini dikatakan minim sekali perawatan seperti baterai pada umumnya. Baterai tipe ini terbagi menjadi 2 berdasarkan konstruksi internalnya yakni:

a. *Gel Cell*

Baterai ini larutan elektrolitnya dicampur dengan pasir silica sehingga wujudnya menjadi kental seperti *jelly* atau Gel (agar-agar). Gel inilah yang berfungsi sebagai elektrolitnya.

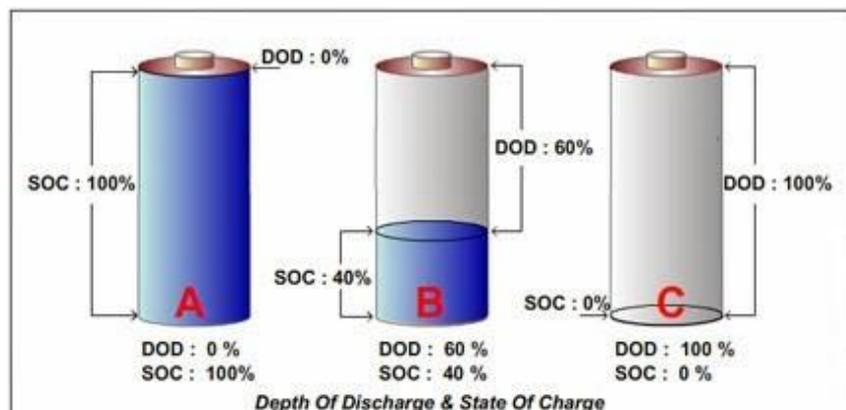
b. *Absorbent Glass Mat Battery (AGM)*

Baterai tipe ini memiliki separator atau pemisah di antara pelat pelat sel nya berupa *fiberglass*. *Fiberglass* ini layaknya sebuah handuk yang menyerap air, ia menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori *fiberglass* ini.

Baterai tipe VLRA ini paling banyak dipakai oleh sistem PLTS *Photovoltaic*. Baik VLRA tipe *Gel Cell* maupun VLRA tipe *Absorbent Glass Mat*.

#### 2.2.4.4.2 *Depth of Discharge (DoD)*

*Depth of Discharge* adalah nilai yang menunjukkan besarnya arus listrik yang telah terpakai dan digunakan. Satuan nilai DoD ini adalah persen (%). Umumnya pabrikan baterai mensyaratkan dan merekomendasikan baterai buatannya untuk dipakai tidak melebihi 80% DoD. Artinya adalah masih terdapat 20% sisa isi baterai yang dicadangkan dan tidak digunakan. Jika penggunaan baterai sampai 100% persen (100% DoD), maka akan merusak *cell* pada baterai dan memperpendek umur baterai. Kebalikan dari DoD adalah SoC atau *State of Charge* atau nilai yang menunjukkan besarnya arus listrik yang tersisa setelah pemakaian.



Gambar 2.11. *Depth of Discharge* (DoD) dan *State of Charge* (SoC).  
(Sumber: <https://sanfordlegenda.blogspot.com/2013/09/Glossary-of-battery-Istilah-pada-baterai.html>)

Umumnya sistem PLTS *Photovoltaic* menggunakan baterai yang di atur nilai DoD nya berkisar antara 25 s.d. 50%. Artinya kapasitas baterai harus mempertimbangkan nilai DoD ini karena tidak semua nilai nominal kapasitas baterai dipakai untuk melayani beban.

#### 2.2.4.4.3 Perhitungan Baterai

Perhitungan baterai ini menggunakan parameter besarnya potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel *Photovoltaic* tanpa mempertimbangkan jumlah beban. Untuk mengkalkulasi kebutuhan jumlah baterai dapat mengikuti tahapan berikut ini (Ari Rahayungtyas et al, 2014)

##### Tahapan ke 1

Tentukan DoD dari baterai yang akan digunakan. Jika mensyaratkan DoD sebesar 50%, artinya kapasitas baterai dapat dipakai oleh beban hanyalah 0,5 atau setengahnya dari baterai, sedangkan sisanya dicadangkan oleh baterai. Agar beban dapat menggunakan kapasitas baterai sepenuhnya, maka kapasitas Panel *Photovoltaic* dibagi nilai dari DoD yang disyaratkan.

Oleh sebab itu, maka rumusnya adalah sebagai berikut.

## **Total Daya Panel *Photovoltaic* / DoD**

### **Tahapan ke 2**

Panel *Photovoltaic* tidak selamanya mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik. Ada kalanya dalam satu hari atau beberapa hari panel *Photovoltaic* tidak memproduksi energi listrik dikarenakan cuaca mendung dan cenderung gelap. Oleh sebab itu haruslah diperhitungkan seberapa lama sistem PLTS *Photovoltaic* dapat berkerja secara otonom tanpa penyinaran matahari.

Umumnya dalam perancangan PLTS *Photovoltaic* dipertimbangkan bahwa PLTS mampu untuk tetap menyuplai energi listrik selama 3 hari tanpa sinar matahari, maka hasil pada perhitungan di tahap 1 berlanjut menjadi sebagai berikut.

### **Tot. Daya Panel *Photovoltaic* (Setelah DoD) x 3 (Hari)**

### **Tahapan ke 3**

Pada tahap ini kita dapat menentukan kebutuhan baterai yang akan digunakan. Rumusnya adalah sebagai berikut.

### **Tot. Daya Panel\*\*) x Teg. Baterai x Kap. Baterai**

\*\*) = Setelah melewati tahapan 1 dan 2.

### **Tahapan ke 4**

Pada tahap ini kita harus sudah menentukan sistem baterai yang akan digunakan pada PLTS *Photovoltaic*. Tegangannya, konfigurasi (Paralel atau Seri) dan sebagainya.

$$\mathbf{B_{Paralel} = N \text{ Baterai} / B \text{ Seri}}$$

$B_{Paralel}$  = Jumlah pasangan baterai yang dirangkai paralel.

$N \text{ Baterai}$  = Jumlah kebutuhan baterai.

$B \text{ Seri}$  = Jumlah baterai yang dirangkai seri untuk mencapai tegangan sistem yang disyaratkan.

Setelah itu kita dapat menentukan kapasitas total baterai yang akan digunakan pada PLTS *Photovoltaic*.

$$\mathbf{\text{Total kapasitas baterai} = B_{Paralel} \times \text{Kapasitas Baterai}}$$

#### 2.2.4.5 Inverter

Salah satu komponen pada sistem PLTS *Photovoltaic* adalah Inverter. Inverter adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi tegangan *Direct Current* (DC) atau tegangan dengan arus listrik searah yang diproduksi oleh panel *Photovoltaic* menjadi tegangan *Alternating Current* (AC) atau tegangan listrik dengan arus bolak balik. Dalam suatu sistem PLTS *Photovoltaic* diperlukan komponen Inverter untuk menyediakan energi listrik dengan arus AC yang dibutuhkan oleh beban-beban peralatan listrik yang notabene memiliki karakteristik input arus listrik AC.

Sistem inverter pada suatu PLTS *Photovoltaic* bisa digolongkan menjadi 2 kelompok sistem utama berdasarkan jumlah bebannya (Visnu Semara Putra, 2015), yakni adalah sebagai berikut.

1. Sistem Inverter 1 fasa PLTS *Photovoltaic*. Yakni sistem inverter dimana jumlah beban yang tersambung adalah kecil dan tidak terlalu banyak atau sedikit.

2. Sistem Inverter 3 fasa PLTS *Phovoltaic*. Yakni Yakni sistem inverter dimana jumlah beban yang tersambung adalah besar dan banyak. Umumnya sistem inverter ini tersambung dengan jaringan listrik utama (Jaringan Listrik PLN).

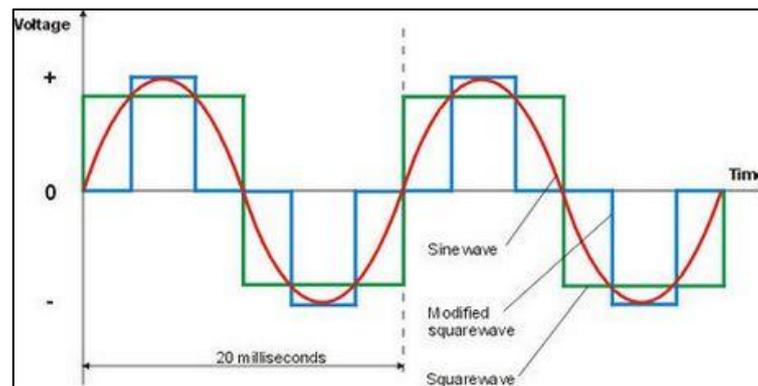
Jika dilihat dari cara maupun jenis penggunaannya, maka setidaknya terdapat 2 jenis inverter yang banyak diaplikasikan dan digunakan pada sistem PLTS *Photovoltaic*:

1. *Stand Alone Solar Inverter*. Yakni jenis Inverter yang berfungsi sebagai pengkonversi listrik arus searah (DC) yang berasal dari panel surya atau baterai menjadi listrik arus bolak-balik (AC). Sistem ini banyak diaplikasikan pada sistem PLTS *Photovoltaic Off-Grid* dimana sistem PLTS ini tidak terhubung dengan jaringan listrik utama (jaringan listrik PLN).
2. *Grid Tie Solar Inverter*. Adalah jenis inverter pada umumnya sama dengan *Stand Alone Solar Inverter*. Yang membedakan adalah inverter ini digunakan dan hanya dapat berfungsi apabila inverter terhubung dengan jaringan listrik utama (jaringan listrik PLN). Inverter jenis ini biasanya memiliki proteksi *anti islanding*, yaitu apabila terjadi gangguan pada jaringan listrik utama, maka inverter ini akan langsung memutus aliran listrik dari jaringan utama menuju inverter.

Inverter juga dikelompokkan berdasarkan bentuk gelombang arus bolak-balik yang dihasilkan, yakni adalah sebagai berikut.

1. *Square Wave Inverter*. Yakni inverter yang menghasilkan output gelombang sinus yang berbentuk kotak atau persegi. Inverter jenis ini tidak cocok digunakan dan dapat merusak peralatan seperti beban-beban listrik yang menggunakan kumparan serta motor.

2. Modified Sine Wave Inverter. Yakni inverter yang menghasilkan output gelombang sinus modifikasi bentuk persegi yang disempurnakan. Inverter jenis ini masih bisa digunakan untuk beban yang menggunakan kumparan. Hanya saja efisiensinya tidak maksimal serta *loss factor energy* yang masih tinggi.
3. Pure Sine Inverter. Yakni inverter yang menghasilkan output gelombang sinus yang mendekati sempurna dan setara dengan gelombang sinus pada jaringan listrik utama (PLN). Inverter ini yang paling cocok digunakan pada PLTS *Photovoltaic*



Gambar 2.12. Beberapa gelombang sinus yang dihasilkan oleh inverter.  
(Sumber: <http://solarsuryaindonesia.com/info/inverter>)

#### 2.2.4.5.1 Perhitungan Inverter

Dalam perancangan PLTS *Photovoltaic* ini jumlah beban tidak diperhitungkan. Oleh sebab itu kebutuhan inverter didasarkan pada kapasitas daya total panel *Photovoltaic*. Untuk mengetahui daya inverter yang dibutuhkan jika jumlah beban tidak diketahui adalah sebagai berikut (Rasyid, 1993).

$$\text{Jumlah Inverter} = \frac{(\text{N Panel Photovoltaic} \times \text{Pmax Photovoltaic})}{\text{Kapasitas Inverter}}$$

$N$  Panel *Photovoltaic* = Jumlah Panel *Photovoltaic*  
 $P_{max}$  = Daya Maksimum Panel *Photovoltaic*  
 Kapasitas Inverter = Kapasitas Daya Produk Inverter yang akan digunakan.

Namun rumus perhitungan tersebut haruslah memenuhi beberapa prasyarat agar inverter dapat berkerja secara efisien. Berikut adalah beberapa prasyarat yang harus dipenuhi dalam menentukan kapasitas total inverter.<sup>3</sup>

- **Kapasitas Daya AC Kontinyu Inverter @ 25°C \*)  $\geq$  Daya beban rata-rata**
- **Kapasitas Daya AC @ 25°C selama 30 menit \*)  $\geq$  Beban Puncak selama 30 menit**
- **Kapasitas Daya Kontinyu @ 25°C Inverter \*)  $\leq$  Kapasitas Total Panel *Photovoltaic***

Keterangan:

\*) = Dalam Keadaan STC (*Standar Condition Test*). Nilai ini biasanya tercantum pada spesifikasi produk.

Untuk mencapai kapasitas Inverter yang dibutuhkan terkadang memerlukan beberapa inverter yang dipasang secara paralel untuk mengkompensasi total kapasitas Inverter. Oleh sebab itu Inverter setidaknya harus mampu dan kompatibel serta dapat dipasang secara paralel serta mampu berkomunikasi antar inverter.

Selain itu jika menggunakan inverter lebih dari 1, maka pastikan inverter yang digunakan berasal dari merek, tipe, maupun produk yang

---

<sup>3</sup> Ibid, hlm 84.

sama. Hal ini diperlukan agar nantinya dalam melakukan pengaturan pengaturan maupun pengaturan instalasinya tidak merepotkan karena cenderung sama satu dengan yang lainnya.

### **2.2.5 Aspek Biaya Perencanaan PLTS *Photovoltaic***

Seperti selayaknya sebuah proyek unit usaha bisnis pada umumnya, dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* ini juga perlu mempertimbangkan aspek-aspek biaya yang sangat beragam. Aspek-aspek biaya ini ditinjau dari faktor harga pengadaan barang atau komponen PLTS *Photovoltaic*, komponen sipil yang berkaitan dengan PLTS *Photovoltaic*, tingkat suku bunga acuan, perkiraan biaya operasional maupun pemeliharaan, dan masih banyak aspek-aspek yang lainnya. Semakin banyak pertimbangan aspek-aspek yang mempengaruhi biaya perencanaan PLTS *Photovoltaic*, maka semakin akurat prediksi biaya yang harus dikeluarkan untuk membangun PLTS *Photovoltaic*.

Aspek Biaya Perencanaan PLTS *Photovoltaic* dapat ditinjau dari dua faktor utama, yakni Faktor Biaya Siklus hidup (terdiri dari Biaya Investasi Awal PLTS *Photovoltaic*, Biaya Operasional dan Pemeliharaan, serta Biaya Energi (terkait dengan Faktor Pemulihan Modal).

#### **2.2.5.1 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)**

Biaya Siklus Hidup atau *Life Cycle Cost* (LCC) merupakan biaya keseluruhan suatu sistem atau program selama jangka waktu kehidupannya. Terkait dengan PLTS *Photovoltaic*, biaya siklus hidup (LCC) dapat ditentukan ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total perencanaan PLTS *Photovoltaic* yang terdiri dari biaya investasi awal, serta biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional, serta biaya penggantian baterai

Rumus untuk mengetahui Biaya Siklus Hidup atau *Life Cycle Cost* (LCC) adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{LCC = C + M_{PW}}$$

Keterangan:

LCC = *Life Cycle Cost* atau Biaya Siklus Hidup.

C = Biaya Investasi Awal.

$M_{PW}$  = *Present Worth of Maintenance and Operation*. Adalah biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional dalam periode waktu proyek (umur proyek).

#### **2.2.5.2 Biaya Investasi Awal PLTS *Photovoltaic***

Biaya investasi awal suatu proyek erat kaitannya dengan biaya yang harus dikeluarkan untuk memenuhi unsur unsur pokok dalam proyek tersebut. Dalam hal perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Photovoltaic* sistem *Off-Grid*, maka biaya investasi awal yang dikeluarkan dapat dihitung berdasarkan seberapa banyak biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan komponen utama PLTS *Photovoltaic*. Komponen utama PLTS *Photovoltaic* berupa Panel *Photovoltaic*, *Solar Charge Controller* (SCC), Baterai, dan Inverter.

Persepsi terhadap komponen utama suatu proyek bisa berbeda-beda tergantung sudut pandang pemilik proyek maupun perancang proyek. Oleh sebab itu untuk menentukan dengan tepat biaya investasi awal suatu proyek butuh hal yang sangat detail dan menyeluruh sehingga nantinya tidak ada lagi biaya-biaya yang tak terduga muncul.

### 2.2.5.3 Biaya Pemeliharaan dan Operasional PLTS *Photovoltaic*

Biaya Pemeliharaan dan Operasional PLTS *Photovoltaic* adalah keseluruhan biaya yang mencakup biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan, instalasi, komponen sipil, serta biaya operasional untuk keberlangsungan jalannya PLTS *Photovoltaic*. Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional (M) per tahun untuk PLTS *Photovoltaic* yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut.

$$M = 1-2\% \times C \quad ^4$$

Keterangan:

M = Biaya Pemeliharaan dan Operasional per tahun.

C = Biaya Investasi Awal.

Namun untuk besaran persentase maupun hasil perhitungan diatas tidak selalu bernilai sebesar itu. Biaya untuk pemeliharaan dan operasional PLTS bisa dirinci sesuai dengan kebutuhannya. Tidak melulu mengikuti rumusan perhitungan diatas.

### 2.2.5.4 Nilai Biaya Sekarang untuk Pemeliharaan dan Operasional

Nilai Biaya Sekarang atau *Present Worth* adalah nilai biaya yang nantinya akan dikeluarkan pada beberapa tahun ke depan semenjak suatu proyek dimulai atau berjalan dan sepanjang umur maupun periode proyek tersebut. Oleh sebab itu, Nilai biaya sekarang erat kaitannya dengan nilai biaya pemeliharaan dan operasional suatu proyek. Oleh sebab itu, Nilai biaya sekarang sering juga disebut dengan *Present Worth of Maintenance and Operation* atau Nilai Biaya Sekarang untuk Pemeliharaan dan Operasional.

---

<sup>4</sup> Athanasia A. Lazou dan Anastassios D. Papatsoris, *The Economics of Photovoltaic Stand-Alone Residential Household: A Case Study for Various European and Mediterranean Location*, Heslington, 2000, hlm 411-427.

Adapun rumus untuk menentukan Nilai Biaya Sekarang untuk Pemeliharaan dan Operasional adalah sebagai berikut.

$$M_{PW} = M \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Keterangan:

$M_{PW}$  = Nilai Biaya Sekarang untuk Pemeliharaan dan Operasional.

$M$  = Biaya Pemeliharaan dan Operasional

$i$  = Nilai Suku Bunga Kredit (%)

$n$  = Nilai Periode/Waktu (Tahun ke)

## 2.2.6 Analisa Kelayakan Investasi PLTS *Photovoltaic*

Analisa kelayakan investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Photovoltaic* dapat didasarkan pada perhitungan *Cash Flow*, *Net Cash Flow*, *Net Present Value* (NPV) dan *Payback Periode* (PP).

### 2.2.6.1 *Cash Flow* PLTS *Photovoltaic*

*Cash Flow* adalah aliran atau arus kas yang dihasilkan oleh PLTS *Photovoltaic*. Besaran arus kas ini didapatkan dari harga jual energi listrik yang potensial diproduksi oleh suatu PLTS *Photovoltaic* dalam jangka waktu 1 tahun.

Nilai harga jual energi listrik berdasarkan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2017 tentang pemanfaatan sumber energi listrik terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik, disebutkan bahwa Pemerintah melalui PLN dapat membeli energi listrik suatu PLTS *Photovoltaic*

berkapasitas minimal 15MW berdasarkan harga Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan yang sesuai dengan lokasi PLTS tersebut berada.<sup>5</sup>

Besar kecilnya BPP Pembangkitan suatu daerah bergantung pada Biaya produksi (Investasi, Operasional, Perawatan, dsb) pembangkit listrik yang telah ada sebelumnya. Besar kecilnya BPP Pembangkitan juga erat kaitannya dengan seberapa terencilnya atau seberapa banyak beban pelanggan di suatu daerah. Apabila daerahnya padat penduduk dan terdapat pembangkit listrik yang besar, maka nilai BPP Pembangkitannya akan rendah. Sebaliknya jika daerahnya memiliki penduduk tersebar dan pembangkit listrik yang telah ada kapasitasnya kecil dan tersebar maka nilai BPP Pembangkitannya akan tinggi.

Nilai BPP Pembangkitan untuk setiap tahunnya akan selalu berubah mengikuti harga pasar global (biasanya terkait dengan harga minyak dunia). Sementara itu harga BPP Pembangkitan untuk wilayah Jawa Tengah dan D.I. Yogyakarta (termasuk ke dalam wilayah pembangkitan Jawa-Bali) adalah sebesar Rp. 984/kWh.<sup>6</sup> Oleh sebab itu, perhitungan nilai arus kas adalah sebagai berikut

$$\text{Arus Kas per Tahun} = \text{Potensi Energi Listrik PLTS (kWh)} \times \text{Rp.984,-}$$

Karena pada perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* di atap jalur pedestrian Lapangan Bintang Universitas Muhammadiyah Yogyakarta ini bukanlah di dasarkan pada latar belakang bisnis, dimana energi listrik yang akan diproduksi pasti akan diserap oleh beban di sekitar areal lapangan bintang Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, maka Nilai arus kas di atas bisa didasarkan

---

<sup>5</sup> Kementerian ESDM, *Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2017*, Jakarta, 2017, hlm 7.

<sup>6</sup> Kementerian ESDM, *Peraturan Menteri ESDM Nomor 55 K/20/MEM/2019 Tahun 2019*, Jakarta, hlm 5.

pada harga jual energi listrik PLN kepada pelanggan atau kita menyebutnya dengan Tarif Dasar Listrik (TDL).

$$\text{Arus Kas per Tahun} = \text{Potensi Energi Listrik PLTS (kWh)} \times \text{TDL,-}$$

Dengan Adanya pembangkit Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Photovoltaic* sistem *Off-Grid* ini nantinya beban-beban yang biasanya tersambung pada jaringan listrik PLN akan dapat digantikan suplai energi listriknya oleh PLTS ini.

Adapun nilai arus kas per tahunnya dapat dihitung dengan rumus.

$$\text{Nilai Arus Kas} = \frac{\text{Nilai Arus Kas Kotor (CF)}}{(1 + i)^n}$$

Keterangan:

$i$  = Suku Bunga Bank. (%)

$n$  = Nilai periode/waktu arus kas (Tahun ke).

#### 2.2.6.2 Net Present Value (NPV)

*Net Present Value* atau NPV digunakan untuk menganalisis keuntungan dari investasi atau proyek, formula yang digunakan sensitif terhadap perubahan nilai mata uang atau barang. NPV membandingkan nilai uang yang diterima hari ini dan nilai uang pada masa mendatang dengan memasukkan variabel inflasi dan laju pengembalian. Jika nilai NPV adalah negatif, maka proyek tidak direkomendasikan untuk dilaksanakan, jika nilainya positif, maka proyek layak untuk dilaksanakan. Nilai NPV bernilai nol berarti tidak ada perbedaan apabila proyek tetap dilaksanakan atau ditolak.

Adapun rumus untuk *Net Present Value* atau NPV yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - C$$

Keterangan:

NPV = Net Present Value

CF = Cash Flow

$n$  = Umur Proyek (Tahun)

$t$  = Nilai periode/waktu arus kas (Tahun ke).

### 2.2.6.3 *Payback Periode (PP)*

*Payback Periode* adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi melalui penerimaan penerimaan yang dihasilkan oleh proyek. Perhitungan *Payback Periode* dilakukan untuk mengetahui risiko keuangan terhadap proyek yang akan dilakukan. Investasi dinilai layak apabila *Payback Periode* memiliki nilai waktu yang lebih pendek daripada nilai umur proyek. Sebaliknya Investasi dinilai tidak layak apabila *Payback Periode* memiliki nilai waktu yang lebih panjang daripada nilai umur proyek.

Adapun rumus perhitungan untuk *Payback Periode* adalah sebagai berikut.

$$PP = \text{Waktu Operasi PLTS} - \frac{C}{NPV}$$

Keterangan:

PP = *Payback Periode* (Tahun).

C = Nilai Biaya Investasi Awal.

NPV = *Net Present Value*.

#### 2.2.6.4 *Internal Rate of Return (IRR)*

*Internal Rate of Return* adalah tingkat pengembalian dari nilai investasi awal berupa tingkat nilai suku bunga saat NPV = 0. Satuannya adalah persen per tahun. Rumusnya secara praktis adalah sebagai berikut.

$$IRR = Ir + \frac{NPV Ir}{NPV Ir - NPV It} \times (It - Ir)$$

Keterangan:

IRR = Internal Rate of Return

*Ir* = Suku Bunga Rendah

*It* = Suku Bunga Tinggi

NPV *Ir* = NPV Pada Bunga Rendah / NPV Positif

NPV *It* = NPV Pada Bunga Tinggi / NPV Negatif

#### 2.2.6.5 *Return of Investment (ROI)*

*Return of Investment* adalah laba atau keuntungan dalam investasi. *Return of Investment* biasanya diukur dalam bentuk rasio persentase keuntungan dengan total investasi. Rumusnya adalah sebagai berikut.

$$ROI = \frac{\text{Total Laba} - \text{Total Investasi Awal}}{\text{Total Investasi Awal}} \times 100$$