

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Energi Baru Terbarukan

Dalam setiap aktivitas manusia terutama pada bidang bisnis, industri, transportasi, dan rumah tangga membutuhkan energi. Sumber energi untuk memenuhi kebutuhan energi dunia sudah mengalami banyak perubahan, dari mulai memakai biomassa yaitu kayu bakar, kemudian berubah menjadi energi fosil seperti minyak, gas, dan batu bara (Setyono & Kiono, 2021). Dengan masifnya penggunaan energi fosil yang bersifat tidak terbarukan, memiliki dampak menipisnya cadangan minyak bumi dan batu bara. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil sebagai energi berkontribusi terhadap kelebihan karbon di atmosfer sehingga menyebabkan pemanasan global (Jawoto Setyono, 2019).

Dengan memperhatikan beberapa dampak signifikan dari energi non-terbarukan, maka perlu adanya suplai energi alternatif yang bersifat terbarukan. Alternatif energi di Indonesia sangat berlimpah, dan masih belum maksimal dalam pemanfaatannya. Jenis energi alternatif di Indonesia diantaranya, air, panas bumi, biomassa, tenaga surya, tenaga angin, dan uranium. Untuk penggunaan sebagai sumber energi listrik bisa dilihat pada tabel 2.1 (Imam Agung, 2013).

Tabel 2.1 Potensi Energi Baru Terbarukan Indonesia

No.	Jenis	Sumber Daya	Kapasitas Terpasang
1	Air	75,67 GW	4.200,00 MW
2	Panas Bumi	27,00 GW	800,00 MW
3	Biomassa	49,81 GW	302,40 MW
4	Tenaga Surya	4,80kWh/m ² /hr	8,00 MW
5	Tenaga Angin	9,29 GW	0,50 MW

2.1.1 Potensi Energi Matahari di Indonesia

Indonesia adalah negara yang letak geografisnya berada tepat di garis khatulistiwa. Garis khatulistiwa memberikan dampak besar terhadap besarnya radiasi matahari, khususnya di Indonesia (Alvin Ridho & Winardi dan Agung Nugroho, 2019.). Oleh karena itu, energi matahari dapat dimanfaatkan dalam pengembangan berbagai sektor. Menurut data SolarGis 2023, Tasikmalaya memiliki radiasi matahari sebesar 4,6 kWh/m²/hari. Hal ini menjadi indikator bahwa energi matahari berpotensi untuk dimanfaatkan

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi alternatif yaitu radiasi matahari. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang biasa disebut *Solar Photovoltaic* atau *Solar Cell* merubah energi elektromagnetik yang berasal dari cahaya matahari menjadi energi listrik. *Solar Cell* terbuat dari bahan semikonduktor jenis Silicon (Si) yang memiliki

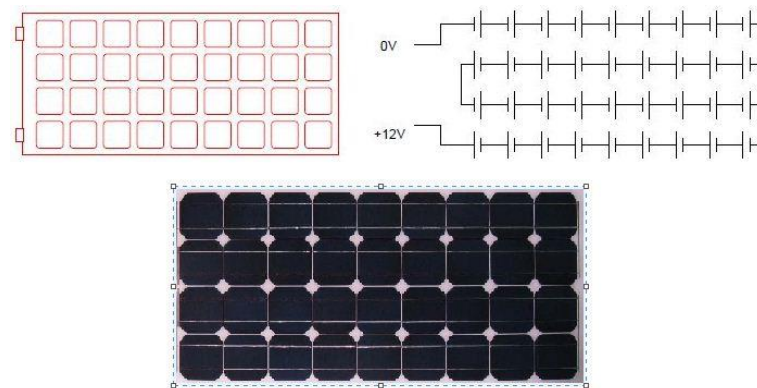
permukaan tipis dan luas yang terdiri dari rangkaian diode tipe “p” dan tipe “n” yang dapat merubah energi matahari menjadi energi listrik (Farhan Fernanda, 2021).

PLTS diklasifikasikan dalam dua jenis utama, PLTS *on-grid* dan PLTS *off-grid*. PLTS *on-grid* adalah sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan yaitu PLN. Kemudian PLTS *off-grid* adalah sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan PLN dan hanya mengandalkan baterai sebagai tempat menyimpan energi listrik yang sudah dikonversi. Selain itu, pada implementasinya PLTS memiliki 3 jenis instalasi umum yaitu, PLTS atap (*rooftop*), PLTS tanah (*ground-mounted*), dan PLTS terapung (*floating*).

2.2.1 Struktur Umum Sel Surya

Sel surya pada umumnya memiliki struktur yang terdiri dari satu atau lebih bahan semikonduktor dengan dua sisi berlainan yaitu positif dan negatif. Dua sisi tersebut berperan sebagai elektroda (Wulandari Handini & Akhmad Herman Yuwono, 2008).

Biasanya sel surya komersial dapat menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt. Karena kecilnya tegangan yang dihasilkan dari satu sel surya, maka sel surya biasanya tersusun secara seri yang berjumlah 28 sampai 36 sel surya sehingga dapat menghasilkan tegangan sebesar 12 volt (Setiawan, 2017). Sel surya yang dihubungkan secara seri dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sel surya disusun secara seri (Setiawan, 2017).

2.2.2 Prinsip Kerja PLTS

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya (Setiawan, 2017). Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n ini terhubung, kelebihan elektron dari tipe-n akan bergerak menuju ke tipe-p. Dengan pergerakan atom tersebut maka akan terbentuk kutub positif pada tipe-n dan kutub negatif pada tipe-p. Sehingga akan terbentuk medan listrik apabila susunan *p-n junction* terkena cahaya matahari.

Modul surya terdiri dari beberapa sel surya yang biasanya disusun secara seri. Modul surya menjadi perangkat utama yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Sebelum dapat didistribusikan ke beban, tegangan dan arus memiliki beberapa proses yang harus dilewati. Berbeda dengan listrik PLN, daya yang dihasilkan modul surya tidak selalu konstan. Sebuah solar photovoltaic akan

bekerja dengan baik pada kondisi standar yaitu intensitas sinar matahari pada intensitas cahaya 1000Watt/m^2 , suhu modul surya sebesar 25°C , Spektum matahari pada posisi AM1.5 global, sudut datang sinar matahari 0° (Sumaja, 2019). Karena daya yg dihasilkan tidak konstan, maka akan berdampak negatif pada beban yang dipasang. Oleh karena itu, dibutuhkan buck-boost converter untuk menghasilkan daya yang konsisten. Biasanya menggunakan SCC (*Solar Charge Controller*).

Pada beban pun akan memiliki jenis input tegangan yang berbeda, seperti AC (Arus bolak-balik) dan DC (Arus searah). Keluaran tegangan dari modul surya hanya tegangan DC, maka dari itu dibutuhkan pengubah tegangan agar bisa dipakai oleh beban dengan input tegangan AC. Maka, dibutuhkan perangkat inverter yang berfungsi untuk mengubah jenis tegangannya. Sebagai sistem proteksi agar tidak terjadi *short circuit* atau hubung singkat maka digunakan perangkat MCB (*Miniature Circuit breaker*) yang berperan memutus arus listrik yang berlebih.

2.2.3 Karakteristik Fotovoltaik

Sel surya mempunyai kurva karakteristik yang dapat menunjukkan adanya hubungan antara arus (I) dengan tegangan keluaran (V) yaitu kurva I-V dan daya dengan tegangan keluaran sel surya (kurva P-V). Ketika berada di titik kerja maksimal maka daya keluaran yang dapat dihasilkan akan maksimal juga. Tegangan di maksimum power point (V_{MPP}) lebih kecil daripada tegangan dari rangkaian terbuka (V_{oc}), dan arus MPP lebih rendah dari arus short circuit (I_{sc}).

1. *Open Circuit Voltage* (VOC) adalah ketika pada suatu titik dimana arusnya (I) adalah nol, sehingga pada saat ini terjadi daya keluaran yaitu nol.

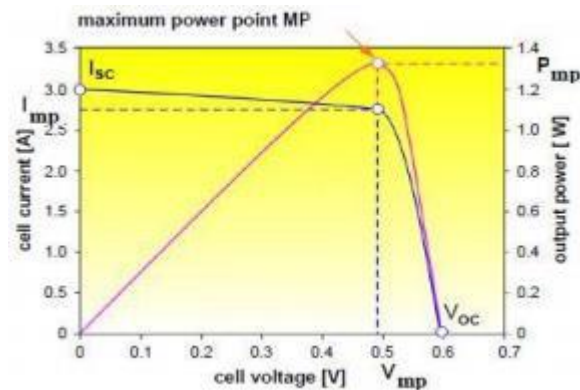
2. *Short Circuit Current* (ISC) yaitu ketika pada suatu titik yang dimana tegangannya (V) adalah nol, sehingga ketika ini terjadi daya keluarannya juga adalah nol.
3. *Maximum Power Point* (MPP) adalah titik daya output maksimal, yang berarti titik dari kurva I-V yang menghasilkan tegangan dan arus maksimum.

Dari penjelasan tersebut maka didapatkan rumus daya maksimum (P_{MPP}) dinyatakan dalam persamaan 2.1

$$P_{MPP} = V_{MPP} \times I_{MPP} \quad (2.1)$$

Untuk memungkinkan perbandingan antara sel surya dan modul, daya MPP diukur berdasarkan kondisi uji standar (*Standart Test Conditions*, STC) ($E = 1000 \text{ W/m}^2$, $\theta = 25^\circ \text{ C}$, AM 1.5). Daya yang dihasilkan dari modul PV terhadap cuaca biasanya lebih rendah. Oleh karena itu daya STC memiliki unit Wp (Wattpeak). Selain itu parameter selanjutnya ialah faktor pengisian atau *fill factor*. Faktor pengisian yaitu kriteria kualitas sel surya yang menunjukkan seberapa baik kurva I-V sesuai dengan persegi panjang V_{OC} dan I_{SC} . Nilai dari FF selalu lebih kecil dari 1 dan biasanya antara 0,75 dan 0,85. Untuk mendapatkan nilai FF dapat menggunakan persamaan 2.2

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (2.2)$$



Gambar 2.2 Kurva Karakteristik I-V dan P-V pada sel surya

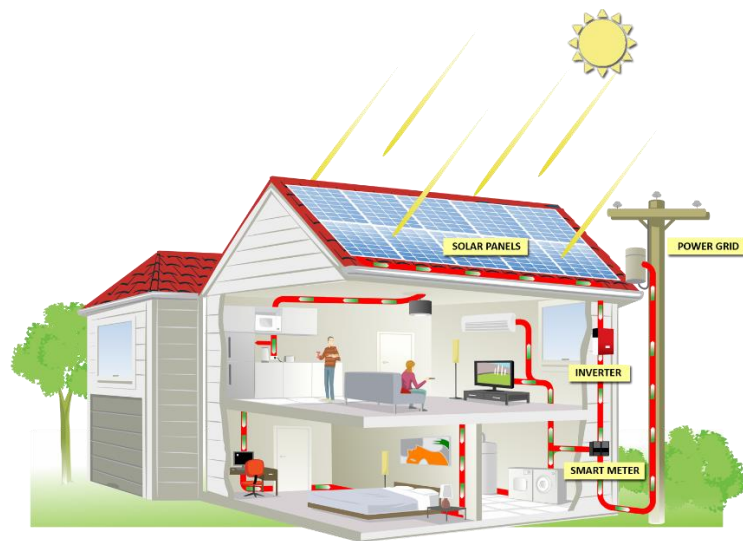
(Roza & Mujiurudin, 2019).

2.2.4 Klasifikasi Jenis PLTS

Seiring dengan kemajuan teknologi, PLTS berkembang dan memiliki berbagai jenis. Klasifikasi PLTS dibagi berdasarkan bentuk instalasi, desain sistem dan berdasarkan hubungan jaringan. Berdasarkan bentuk instalasi diklasifikasikan sebagai berikut.

A. *Rooftop*/Atap

PLTS tipe *rooftop* atau atap ini sesuai dengan namanya yaitu diaplikasikan pada atap bangunan. Karena instalasi nya di atap bangunan maka biasanya daya yang dihasilkan pun tidak sebanyak jenis PLTS yang lainnya. Karena konstruksi PLTS atap terbatas oleh luas dari atap bangunan itu sendiri. PLTS atap biasa digunakan pada bangunan rumah, industri, fasilitas pendidikan, kesehatan, dll. Oleh karena itu, PLTS atap ini mampu menekan biaya tagihan listrik dan membantu memenuhi target NZE (*Nett Zero Emission*). Konstruksi PLTS atap dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Konstruksi PLTS rooftop (Icasolar, 2021).

B. *Ground-Mounted*

PLTS tipe ini merupakan PLTS yang memanfaatkan luas lahan tanah. Konstruksi dari PLTS tipe ini sangat bergantung pada kondisi lahan, seperti luasnya, jenis tanah, kedataran lahan, serta kestabilan lahan. PLTS tipe ini cocok untuk pembangkit listrik berskala besar dan terpusat. Karena diaplikasikan pada lahan kosong PLTS ini memiliki kelebihan mampu memberikan produksi energi yang lebih besar karena dapat diposisikan pada arah dan sudut yang optimal. Selain itu, jika dibandingkan dengan PLTS *rooftop* dan *floating* perawatan yang dilakukan tergolong lebih mudah, karena pembersihan panel dari debu dan kotoran dapat dilakukan secara langsung dengan tidak menggunakan banyak perlengkapan tambahan lain.

Disisi lain, kelemahan dari PLTS tipe ini yaitu biaya awal pemasangan lebih mahal karena menggunakan beton dan lebih sulit pada saat pemasangan karena harus menggali tanah dan mengecor semen. Untuk PLTS ini konstruksi nya

umumnya ada dua jenis, yaitu *standard mount* dan *pole mount*. Untuk jenisnya bisa dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5.



Gambar 2.4 Standard Mount (ESDM, 2019).



Gambar 2.5 Pole Mount (Atonergi, 2023).

C. *Floating*/Terapung

PLTS Terapung merupakan pembangkit listrik tenaga surya yang memanfaatkan lahan perairan sebagai media penempatannya. Karena ditempatkan di permukaan air, maka tidak terpengaruh faktor kurangnya lahan daratan di suatu wilayah. PLTS sistem ini cocok untuk menghasilkan energi listrik dalam skala

besar. Karena dengan luasnya perairan di Indonesia, dapat dibangun PLTS terpusat untuk memenuhi kebutuhan listrik sekitar wilayah waduk dari mulai perumahan sampai fasilitas umum. Gambar PLTS terapung bisa dilihat pada gambar 2.6.



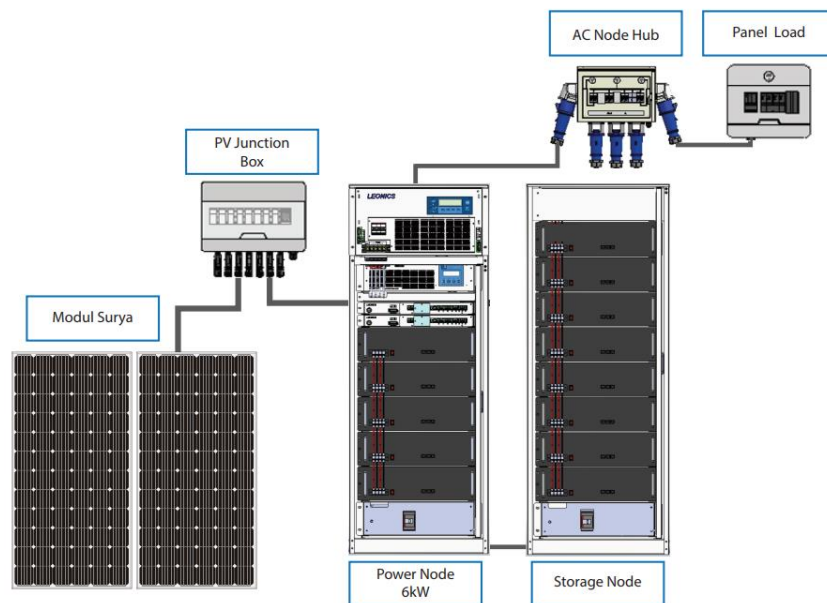
Gambar 2.6 PLTS terapung (AsiaToday, 2022).

Selain dari segi instalasinya, PLTS juga diklasifikasikan berdasarkan desain sistem. Desain sistem disini terbagi menjadi dua kategori, yaitu PLTS terpusat dan PLTS tersebar. Penjelasan terhadap dua kategori ini sebagai berikut.

A. PLTS Terpusat

PLTS terpusat merupakan pembangkitan tenaga listrik dengan menggunakan energi matahari yang didesain pada satu lokasi dan menjadi suplay daya ke beberapa wilayah atau konsumen dan dilakukan melalui jaringan distribusi (Samsurizal et al., 2020). PLTS ini biasa diaplikasikan di tanah (*ground-mounted*) dan Terapung (*floating*) karena memiliki luas lahan yang cukup untuk menghasilkan energi listrik berskala besar. Komponen penyusun PLTS terpusat kurang lebih sama dengan jenis tersebar yaitu menggunakan SCC, Inverter, Baterai. Tetapi, yang membedakannya yaitu PLTS terpusat memiliki komponen sistem

jaringan distribusi. Komponen penyusun dari sistem distribusinya antara lain, Inverter, *Solar Charge Controll* (SCC), *System Control Unit* (SCU), baterai, AC *node hub*, *Panel Load*. Untuk topologi rangkaiannya dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Topologi rangkaian sistem distribusi PLTS terpusat (Adyasolar, 2020).

B. PLTS Tersebar

PLTS tersebar atau yang biasa disebut PLTS terdistribusi merupakan pembangkit listrik yang tidak mempunyai jaringan distribusi. PLTS ini tidak saling terhubung dengan PLTS lainnya sehingga tidak bisa menerima atau mengirim daya listrik, kecuali jika dihubungkan secara *on-grid*. Karena tidak saling terhubung, maka setiap gedung rumah, industri, dan fasilitas umum dapat membuat pembangkit listrik nya sendiri. PLTS tersebar biasa digunakan pada rooftop dan PJU-TS, yang dimana tidak terlalu menghasilkan energi listrik terlalu besar jika

dibandingkan dengan PLTS terpusat. Salah satu konstruksi PLTS tersebar dapat dilihat pada gambar 2.3.

Klasifikasi selanjutnya yaitu pada kategori sistem hubung jaringannya. PLTS terdiri dari dua jenis sistem hubung jaringan, yaitu *on-grid* dan *off-grid*. Perbedaan jenis ini dijelaskan sebagai berikut.

A. *On-Grid*

PLTS *on-grid* merupakan sistem jaringan PLTS yang menyatukan sumber energi listrik yang dimana disuplay dari panel surya dan PLN. Sistem ini adalah sistem yang paling sederhana serta sangat menghemat biaya, sistem ini dapat mengirimkan kembali kelebihan daya yang dihasilkan oleh sel surya ke jaringan listrik, Namun sistem ini tidak mampu menyediakan cadangan daya ketika terjadi pemadaman jaringan (Ahmad Al Farikhi, 2023). Sistem ini berguna untuk bangunan industri, rumah, dan fasilitas umum karena dapat menekan biaya tagihan listrik.

B. *Off-Grid*

Berbeda dengan *on-grid*, sistem *off-grid* hanya memiliki satu sumber energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Sistem ini tidak terintegrasi dengan PLN dan mengandalkan baterai sebagai penyimpanan energinya. Karena hanya menggunakan baterai, daya yang diberikan pun tidak terlalu besar. Sistem ini biasa digunakan pada bangunan yang tidak dapat dijangkau oleh PLN seperti wilayah-wilayah pedalaman, pulau kecil, dan perbatasan negara. Karena energi listrik

disimpan di baterai, maka harus memperhatikan kapasitas baterai setidaknya dapat memenuhi kebutuhan beban selama tiga hari karena listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi cuaca yang selalu berubah.

2.3 PLTS Terapung

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terapung merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari dan diaplikasikan di atas permukaan air. Sesuai dengan namanya PLTS terapung diaplikasikan tepat diatas perairan. Inovasi ini terjadi karena faktor wilayah yang membutuhkan pasokan daya listrik tinggi seperti pusat kota memiliki penduduk yang banyak. Di ibu kota jakarta, menurut data *World Population Review* pada tahun 2023 ini penduduk kota jakarta mencapai 11,24 juta jiwa. Maka dari itu dipastikan banyak lahan yang sudah digunakan untuk perumahan, industri, sarana dan prasarana umum, dll. Karena sedikitnya lahan kosong di pusat kota, maka terciptalah inovasi yang memanfaatkan waduk atau danau untuk dijadikan sumber energi listrik melalui PLTS.

Rancangan PLTS terapung sampai ke beban kurang lebih sama konsep nya dengan PLTS jenis lainnya, yang membedakan adalah beberapa komponen pendukung yang digunakan untuk membantu kestabilan PLTS ini. Dari mulai pelampung yang digunakan, tipe kabel yang tahan air, jangkar yang digunakan, dll. PLTS terapung ini cocok untuk menghasilkan energi listrik skala besar karena bisa dijadikan PLTS terpusat karena memanfaatkan luas danau atau waduk.

2.3.1 Komponen Penyusun PLTS Terapung

PLTS terapung memiliki perbedaan dalam beberapa komponen penyusunnya jika dibandingkan dengan PLTS atap atau PLTS tanah. Maka dari itu, komponen yang digunakan sebagai penyusun PLTS terapung beserta fungsinya adalah sebagai berikut.

A. Modul Surya

Modul surya atau yang biasa disebut panel surya merupakan perangkat utama yang berfungsi merubah energi matahari menjadi energi listrik. Dalam sistem PLTS, panel surya terdiri dari oleh sel surya yang akan merespons partikel foton yang dibawa oleh cahaya matahari dan membuat sirkulasi atom dan menghasilkan energi listrik melewati sel surya tersebut. Modul surya tersusun atas satu atau lebih sel surya yang digabungkan. Kapasitas daya yang dihasilkan oleh modul surya dapat diukur dengan satuan watt peak (Wp), yang memiliki arti jumlah maksimal daya yang dapat dihasilkan pada satu modul (Ahmad Al Farikhi, 2023).

Modul surya memiliki 3 jenis modul yang sekarang sering digunakan, yaitu monokristal, polikristal, *Thin Film Photovoltaic*. Untuk klasifikasi jenis modul surya sebagai berikut.

1. Monokristal/*Monocrystalline*

Modul surya monokristal (c-Si) dalam proses pembuatannya biasanya menggunakan metode Czochralski. Pada lapisan monokristal dalam segi ekonomi cenderung lebih mahal karena dipotong secara silindringot (bundar atau

lingkaran), modul surya ini memiliki ciri fisik nya yang membentuk segidelapan dan cenderung bulat serta memiliki warna yang agak gelap. Modul surya ini juga memiliki *lifetime* selama 20 tahun dan dapat mencapai efisiensi sampai 17% (Puriza et al., 2021). Gambar modul surya monokristal dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Modul surya monokristal (IcaSolar, 2018).

2. Polikristal/*Polycrystalline*

Modul tipe polikristal terbuat dari proses peleburan silikon pada tungku keramik yang nantinya akan menghasilkan bahan dari campuran silikon yang muncul diatas lapisan silikonnya. Modul ini mempunyai efisiensi yang kurang jika dibandingkan dengan monokristal, tetapi memiliki kelebihan yaitu mampu menghasilkan energi listrik ketika cuaca berawan atau mendung (Dimas Ady Pratama & Indra Herlamba Siregar, 2018). Panel ini juga memiliki *lifetime* sampai 25 tahun. Gambar modul surya polikristal/*polycrystalline* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Modul surya polikristal/polycrystalline (Len Industri, 2010).

3. *Thin Film Photovoltaic*

Jenis panel surya ini sesuai dengan namanya memiliki lapisan struktur yang tipis dan terdiri dari mikrokristal-silikon dan amorphus. Nilai efisiennya jauh dibawah jenis monokristal dan polikristal yaitu dengan rentang antara 5 - 8% (Ahmad Al Farikhi, 2023). Gambar modul surya jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Modul surya tipe thin film PV (IcaSolar, 2021).

B. Inverter

Modul surya memiliki keluaran atau *output* tegangan DC, sedangkan kebanyakan pengguna PLTS memerlukan bantuan energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, industri, dan fasilitas umum yang nantinya berguna untuk mengurangi biaya listrik dari PLN. Beban yang terpasang di setiap bangunan pasti ada yang membutuhkan input tegangan AC. Karena perbedaan inilah yang menjadi faktor utama dibutuhkannya perangkat perubah tegangan dari DC menjadi AC. Maka, dibutuhkannya Inverter sebagai perubah tegangan tersebut.

Fungsi inverter yaitu mengubah tegangan masukan/*input* DC menjadi tegangan keluaran/*output* AC yang simetris dengan besar magnitudo dan frekuensi sesuai dengan yang dibutuhkan. Tegangan keluaran bisa saja bernilai sama atau berbeda-beda dengan frekuensi yang tetap atau berbeda juga (SAODAH & UTAMI, 2019). Gambar Inverter yang biasa digunakan dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Residential Inverter (SofarSolar, 2023).

C. Baterai

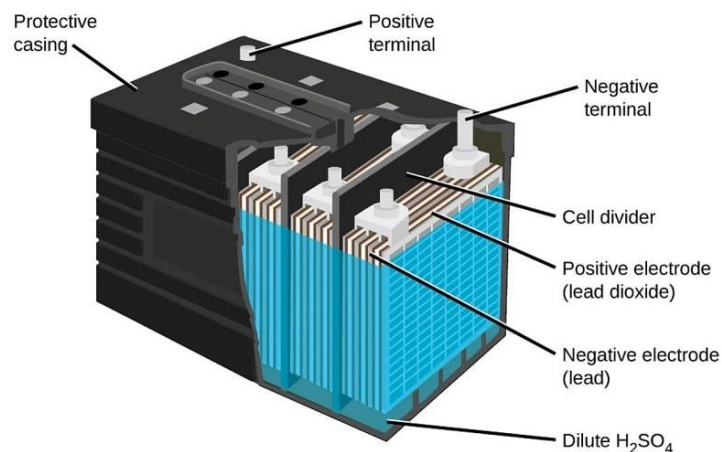
Baterai menjadi peranan penting dalam sistem PLTS *off-grid* karena berfungsi untuk menyimpan seluruh cadangan energi listrik yang sudah dikonversi oleh modul surya. Baterai memiliki kapasitas yang berbeda-beda, nilai kapasitas dari baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah) yang berarti arus maksimal yang dapat dikeluarkan baterai selama satu jam (Ahmad Al Farikhi, 2023). Baterai memiliki input dan output tegangan DC. Pada saat kondisi pengosongan atau *discharging*. Kondisi baterai tidak boleh sampai benar-benar kosong, karena bisa memperpanjang *life time* dari baterai itu sendiri. Standar batas pengosongan dari baterai biasa disebut *Depth of discharge* (DOD) dan satuan nilainya memakai persentase. Batas DOD baterai biasanya pada rentang nilai 80% (Retno Aita Diantari et al., 2017). Baterai untuk PLTS memiliki berbagai jenis tergantung kebutuhan dan efisiensi nya. Klasifikasi jenis baterai dijelaskan sebagai berikut.

1. Baterai *Lead-acid* (Asam timbal)

Baterai tipe ini yang sangat umum digunakan pada sistem PV dan juga sistem kendaraan yang biasa kita sebut aki kendaraan (mobil/motor). Baterai ini tersusun dari unsur kimia PbO_2 (*lead peroxide*) sebagai katoda nya, Pb (*lead sponge*) menjadi anoda, dan elektrolit nya yaitu H_2SO_4 (*sulfuric acid*) (Dini Barkah & Hidayat, 2019). Sistem kerja baterai ini memanfaatkan reaksi oksidasi dan reduksi anoda dan katoda nya. Ketika baterai mengeluarkan muatan, maka material aktif yang berasal dari elektroda bereaksi dengan material elektrolit sehingga menjadi $PbSO_4$ dan H_2O . Kemudian, ketika pengisian baterai, muatan $PbSO_4$ kembali

berubah menjadi PbO_2 .

Baterai ini memiliki keunggulan dalam segi ekonominya yang tergolong murah untuk perawatannya jika dibandingkan dengan jenis baterai yang lain. Baterai ini juga banyak tersedia dalam kapasitas yang besar, dan memiliki performa yang cukup baik karena tidak terlalu terpengaruh terhadap suhu tinggi maupun rendah. Di sisi lain, kelemahan baterai jenis ini yaitu dibutuhkan waktu yang lama dalam proses pengisiannya, *life time* yang tidak panjang, dan ketika dipakai untuk penyimpanan energi yang lama akan terjadi *self discharge*. Gambar konstruksi baterai *lead acid* dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konstruksi Baterai Lead acid (GesainsTech, 2021).

2. Baterai Lithium

Baterai lithium adalah jenis baterai yang bukan termasuk kategori baterai primer. Maka dari itu, baterai ini dapat melakukan pengisian ulang energinya. Karena proses kimia yang terjadi adalah reversibel, yang dimana bahan aktif bisa kembali pada kondisi semula dengan melakukan pengisian sel. Baterai lithium dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *lithium-ion*, *lithium-polymer*, dan *lithium-phosphate*.

Berikut penjelasan tiga jenis baterai *lithium*.

a. *Lithium-ion*

Baterai tipe *lithium-ion* (Li-ion atau LIB) sangat umum digunakan pada alat elektronik masyarakat. Karena baterai ini memiliki kepadatan energi terbaik, dan juga dapat meminimalisir kekurangan energi pada saat tidak digunakan. Cara kerja baterai ini yaitu, ion lithium bergerak dari elektroda negatif menuju elektroda positif ketika dilepaskan, kemudian kembali ke semula pada saat pengisian (Afif et al., 2015).

Tetapi, baterai LIB juga memiliki beberapa kelemahan yaitu dalam segi umur baterai, yang dimana hanya dapat bertahan 2 atau 3 tahun atau bahkan kurang dari itu jika pemakaian baterai selalu dikosongkan pada saat *discharging*. Kemudian, baterai ini juga bisa meledak atau terbakar ketika ditempatkan pada suhu yang tinggi.

b. *Lithium-polymer* (Li-Po)

Sesuai dengan namanya, baterai ini menggunakan elektrolit yang berbahan lapisan tipis/film polimer. Lapisan ini yang kemudian ditempatkan pada celah antara anoda dan katoda yang menyebabkan pertukaran ion. Polimer ini yang memiliki keunggulan karena berperan sangat baik sebagai konduktor arus, performa yang tinggi, dan ringan.

Struktur baterai Li-Po terdiri dari elektroda positif yang menggunakan bahan lithium, elektroda negatif yang memakai media grafit, dan elektrolit nya terbuat dari

bahan polimer (Afif et al., 2015). Pada pengaplikasiannya di alat elektronik biasanya baterai Li-Po terpasang menyatu dengan *board* atau biasa disebut *on-board* yang dimana itu tidak bisa langsung dilepas-pasang seperti Li-ion.

3. *Lithium-Ferro-Phospate* (LiFePO₄)

LiFePO₄ atau LFP sebenarnya adalah baterai Li-ion yang menggunakan LFP sebagai bahan dari katodanya. Sebelumnya Li-ion menggunakan *lithium cobalt-oxide* (LiCoO₂), akan tetapi unsur kobalt dalam LiCoO₂ berbahaya untuk lingkungan, bersifat reaktif dan tidak stabil dalam suhu tinggi. Maka, digunakanlah LiFePO₄ karena dapat menutupi kelemahan kobalt dan juga memiliki kapasitas spesifik yang lebih tinggi yaitu (170 mAh/g) dan kobalt hanya (100 mAh/g) (Satriady et al., 2016).

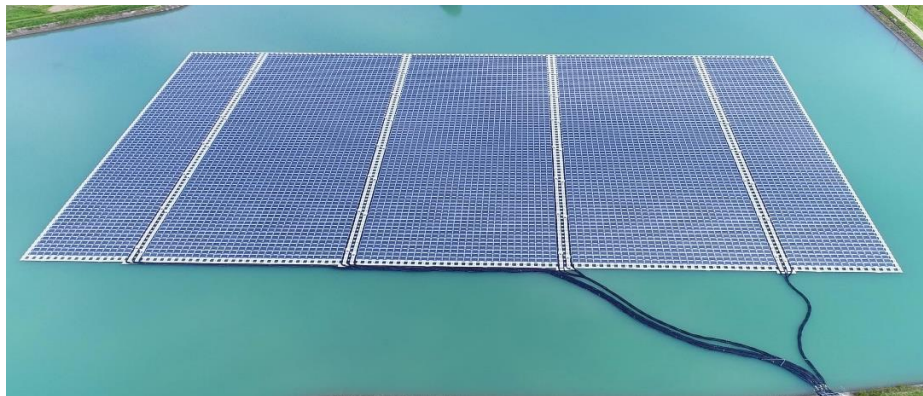
Selain itu, umur LFP juga lebih panjang karena dapat diisi ulang sebanyak 3000 siklus (bahkan pada pengisian/pengosongan 100% penuh). Maka dari itu, penggunaan baterai ini sudah sangat banyak untuk kebutuhan pemakaian panel surya atau alat elektronik lain yang bertenaga surya. Di sisi lain, kelemahan dari baterai LFP ini ada pada segi ekonomi nya yang tergolong lebih mahal jika dibandingkan dengan Li-ion.

D. Kabel

PLTS terapung merupakan sistem pembangkit listrik yang ditempatkan di atas permukaan air, yang dimana membutuhkan perhatian khusus terhadap instalasi komponen nya. Karena dipasang di atas permukaan air, maka harus menggunakan

komponen yang memiliki ketahanan air yang tinggi atau nilai IP (*Ingress Protection*) yang sesuai dengan kebutuhan nya.

Selain ketahanan kabel terhadap air, perlu diperhatikan juga penempatan jalur kabel dan panjang nya. Walaupun dipasang di waduk ataupun danau, air pasti tidak akan selalu stabil dan suatu waktu akan bergerak walau tidak sebesar pergerakan air di sungai atau laut. Jika panjang atau jalur kabel yang dipasang tidak sesuai (terlalu pendek atau tersangkut) akan menyebabkan gaya tarik yang tinggi dan menyebabkan kabel putus. Gambar konstruksi kabel PLTS terapung dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Konstruksi kabel PLTS terapung (IcaSolar, 2021).

Untuk menentukan penggunaan kabel dalam PLTS terapung harus memenuhi ketentuan tersendiri yang dibuat oleh kementerian ESDM, diantaranya:

1. *Marine grade DC cables* (AD 8, IP 68)
2. *Cable ducts*
3. Bending radius sesuai dengan ketentuan
4. Sistem pengkabelan diberikan label untuk kemudahan ketelusuran

5. *High abrasion resistant*
6. UV dan ozone resistant
7. Certificate EN/TUV/UL

E. Media Apung (*Floater*)

Konstruksi sistem PLTS terapung harus menggunakan media yang dapat menunjang modul surya untuk terus mengapung dengan baik. Bahkan media apung juga harus memiliki struktur yang kuat untuk menopang sistem kelistrikan, dan teknisi saat melakukan pemeliharaan. Berdasarkan bahan yang umum digunakan, *floater* terbagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. Baja/Alumunium

Media apung ini berbentuk rakit yang terbuat dari bahan baja atau alumunium dan dikhususkan untuk menjadi media dengan dimensi yang besar. Sistem ini dapat menampung beberapa modul surya dalam satu buah rakit. Karena menggunakan baja atau alumunium, sistem ini memiliki proses perakitan yang lebih sulit dan juga lebih mahal. Akses jalan yang diberikan untuk sistem ini mempunyai luas area kontak dengan air pada rentang jarak 20% dari total luas area yang dimanfaatkan. Penggunaan struktur alumunium menyebabkan turunnya temperatur keseluruhan modul (ESDM, 2021). Desain *floater* dapat dilihat pada gambar 2.14.

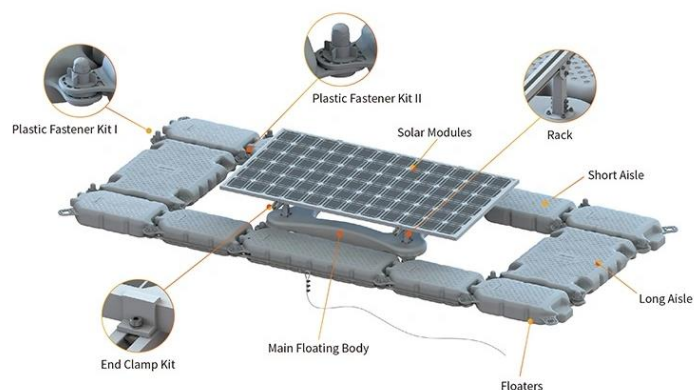


Gambar 2.14 Floater baja atau alumunium (ESDM, 2021).

2. *High Density Polyethylene (HDPE)*

Berbeda dengan *floater* baja/alumunium, HDPE memiliki dimensi yang tergolong kecil. Pada setiap satu buah media apung HDPE hanya dapat menampung satu buah modul surya saja, maka dari itu sistem ini biasa disebut *single floats*. Sistem apung ini dibuat dengan cara merangkai beberapa unit HDPE dan modul diatasnya sesuai dengan kebutuhan modul. Sistem ini juga memiliki area kontak dengan air seluas 50% dari total luas area air yang dimanfaatkan (ESDM, 2021).

Konstruksi media apung HDPE memang lebih ringan, dan karena itu kestabilan media ini menjadi sangat kurang. Karena massa nya yang ringan, HDPE ini sangat rentan terhadap gelombang, angin, atau faktor lain yang mempengaruhi air. Desain *floater* HDPE dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Floater HDPE (SolarFirst, 2020).

3. Struktur Pontoon

Struktur *floater* ini memiliki ukuran yang paling besar dan paling kokoh diantara yang lain karena dapat menampung modul surya 10 sampai 100 unit. Karena struktur nya yang kokoh, jalur teknisi untuk melakukan perawatan jauh lebih mudah. Tetapi, struktur ini memiliki kelemahan yaitu pada segi biayanya yang tergolong lebih mahal. Desain struktur *floater* ini dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Floater pontoon (ESDM, 2021).

F. Jangkar dan *mooring*

Setiap objek yang memiliki massa yang mengapung di atas permukaan air pasti tidak memiliki posisi stabil. Karena pergerakan objek mengapung dipengaruhi beberapa faktor yaitu kecepatan dan arah angin, gelombang air, dan arus air. Begitu pula pada PLTS terapung, yang dimana harus menjaga kestabilan posisi agar proses penyerapan energi matahari tetap efektif. Maka dari itu, untuk menjaga kestabilan posisi modul PV harus dibutuhkan sistem penjangkaran dan *mooring*.

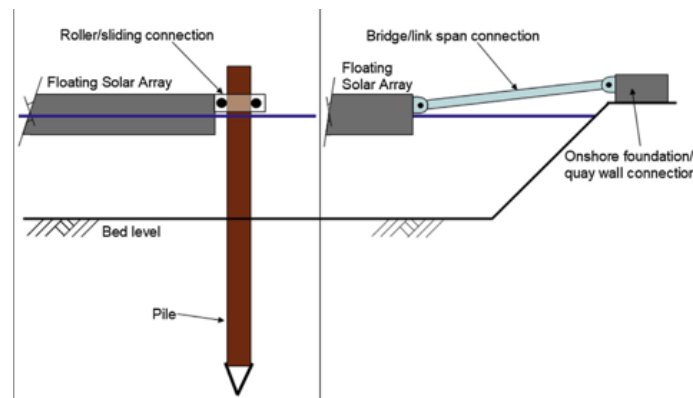
Sistem penjangkaran pada *floating* PV berguna untuk menahan pergerakan modul PV baik pergerakan vertikal maupun horizontal. Sistem penjangkaran

horizontal yaitu menahan pergerakan modul surya terhadap angin, gelombang, dan juga arus air. Sedangkan vertikal untuk menahan pergerakan modul surya terhadap ketinggian air dan sistem *mooring* juga sebaiknya tidak dipasang terlalu kencang (ESDM, 2021). Diperlukan perhitungan untuk konstruksi jangkar dan *mooring* pada titik yang optimal untuk mendapatkan kestabilan dan biaya yang murah.

Untuk itu maka harus diperhatikan tipe *floater*, tipe *mooring*, kapasitas pembangkit, kedalaman air. Sistem penjangkaran dan *mooring* harus sangat spesifik tergantung kondisi dan kebutuhan dari masing-masing tempat pemasangan. Desain sistem *mooring* yang sering digunakan terbagi menjadi 4 jenis, yaitu sebagai berikut.

1. *Rigid mooring system*

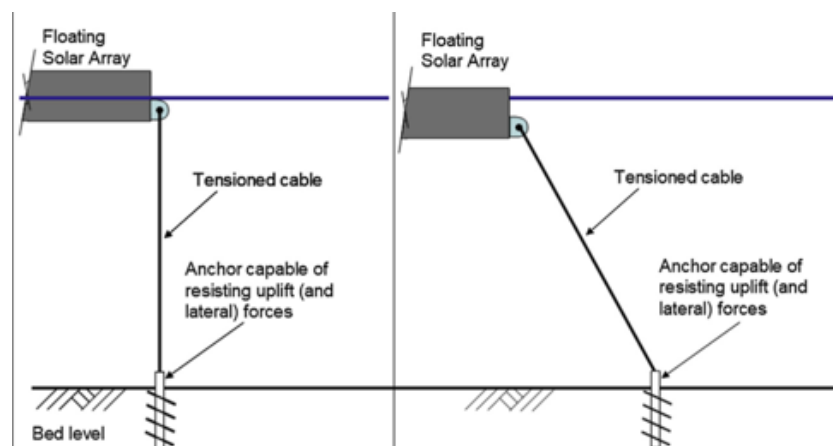
Sistem *mooring* ini digunakan pada kondisi air yang minim perubahan ketinggian nya. Sistem ini dipasang dalam 2 jenis yaitu, dipasang tiang di dasar perairan dan dihubungkan ke *floating* PV. Sedangkan sistem yang kedua adalah memasang jangkar dan *mooring* nya di daratan yang menggunakan komponen penghubung antara jangkar dan *floating* PV (ESDM, 2021). Sistem ini membatasi pergerakan vertikal dan horizontal namun masih dalam jarak yang terbatas. Sistem ini cocok pada perairan yang tergolong rendah atau dangkal. Contoh desain sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Rigid mooring system (ESDM, 2021).

2. *Taut mooring system*

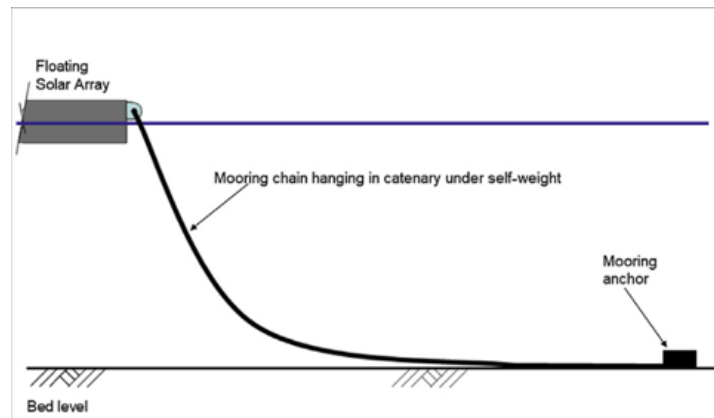
Sistem ini menggunakan jangkar yang ditanam di dasar perairan dan menggunakan *tensional cable* sebagai *mooring* nya. Sistem ini memungkinkan adanya pergerakan secara horizontal dan sangat membatasi pergerakan vertikal. Sistem ini dikhususkan pada jenis perairan dalam. Contoh desain sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Taut mooring system (ESDM, 2021).

3. *Catenary mooring system*

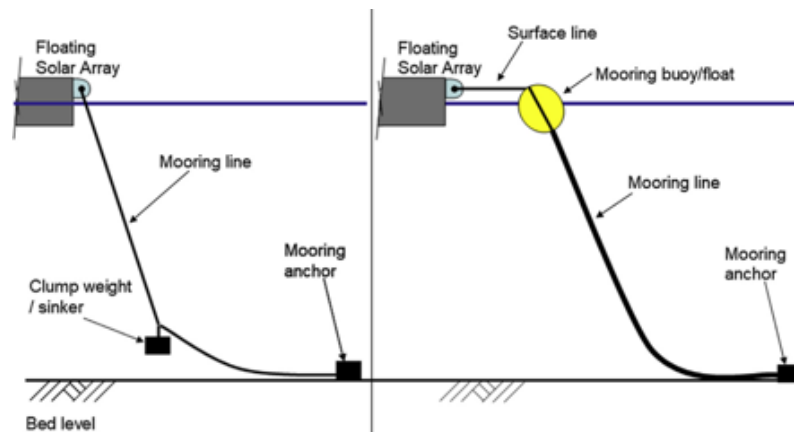
Sistem ini memiliki rantai sebagai sistem *mooring* yang terpasang pada tiga sisi bagian dari *floating PV*. Sistem ini dipakai pada jenis perairan yang ketinggiannya selalu berubah-ubah. Contoh desain sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Catenary mooring system (ESDM, 2021).

4. *Compliant mooring system*

Sistem ini sebenarnya sama dengan *catenary*, tetapi yang membedakannya ialah memiliki komponen tambahan yaitu *mooring float* yang berguna untuk menahan kestabilan *mooring* agar tidak bergerak naik-turun terlalu banyak. Sistem ini dipakai pada perairan yang sempit dan tidak boleh terlalu mengganggu dasar perairan. Contoh desain sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Compliant mooring system (ESDM, 2021).

2.3.2 Perhitungan Perencanaan Sistem PLTS Terapung

A. Kebutuhan Beban Listrik

Menghitung daya beban listrik yang akan disuplai oleh sistem PLTS dalam pemakaian berapa jam per hari. Hasil dari perhitungan ini menghasilkan satuan Wh per hari. Untuk perhitungan digunakan persamaan 2.3.

$$\text{Beban Total} = (\text{Jumlah beban} \times \text{Daya} \times \text{Waktu Pemakaian}) \quad (2.3)$$

B. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai dinyatakan dalam satuan Ah (*Ampere Hour*), ketika ada baterai yang memiliki kapasitas 30 Ah, maka baterai tersebut mampu mencapai arus 30 Ah dalam 1 jam. Penghitungan kapasitas baterai dalam sistem PLTS dipengaruhi faktor *autonomy*, yang dimana keadaan baterai masih dapat terus beroperasi walaupun tidak ada energi matahari yang masuk ke modul surya. Perhitungan kapasitas baterai dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$Ah = \frac{N \times Ed}{Vs \times DOD} \quad (2.4)$$

Dengan,

Ah = Kapasitas Baterai

Ed = Konsumsi Energi dalam sehari

N = Jumlah Autonomous Day

Vs = Tegangan Baterai

DOD = Depth of Discharge

Untuk menghitung jumlah energi yang dapat disimpan dalam baterai digunakan satuan Wh (*Watt Hour*). Untuk menghitung Wh dapat menggunakan persamaan 2.5.

$$Wh = Vs \times Ah \quad (2.5)$$

Dengan,

Wh = Energi yang disimpan dalam baterai

Vs = Tegangan Baterai

Ah = Kapasitas Baterai

C. Menghitung area array panel surya

Untuk menghitung luas area array panel surya dapat menggunakan persamaan 2.6.

$$PV \text{ Area} = \frac{E_t}{G_{AV} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{out}} \quad (2.6)$$

Dengan :

PV Area = Luas Array (m²)

E_t = Besar Konsumsi Energi (kWh)

G_{av} = Minimum Iradiasi Harian (kWh/m²)

η_{PV} = Efisiensi modul Surya

η_{out} = Efisiensi Controller

TCF = Temperature Correction Factor

Untuk mendapatkan nilai daya saat terjadi kenaikan suhu dapat menggunakan persamaan 2.7.

$$P_{\text{saat naik } t^{\circ}\text{C}} = 0,5\% \times P_{MPP} \times \text{Kenaikan Temperatur } (^{\circ}\text{C}) \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan daya maksimal keluaran panel saat terjadi kenaikan suhu dapat menggunakan persamaan 2.8.

$$P_{MPP \text{ saat } t^{\circ}\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^{\circ}\text{C}} \quad (2.8)$$

Kemudian untuk mendapatkan nilai TCF menggunakan persamaan 2.9.

$$TCF = \frac{P_{MPP \text{ saat } t^{\circ}\text{C}}}{P_{MPP}} \quad (2.9)$$

D. Perhitungan daya yang dapat dibangkitkan panel surya

Kebutuhan daya dan jumlah panel surya menjadi faktor penting terhadap sebuah perencanaan pembangkit listrik tenaga surya. Untuk menghitung kebutuhan energi yang dibutuhkan PLTS dapat menggunakan persamaan 2.10.

$$P_{WP} = PV_{area} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (2.10)$$

Dimana :

PSI (Peak Solar Insulation) = 1000 W/m²

η_{PV} = Efisiensi Panel Surya

Setelah mendapatkan total daya yang harus dibangkitkan, maka kemudian menentukan jumlah panel terhadap besaran daya total panel surya menggunakan persamaan 2.11.

$$\eta_{PV} = \frac{P_{WP}}{P_{MPP}} \quad (2.11)$$

Dimana :

η_{PV} = Jumlah panel PV

P_{WP} = Daya yang dibangkitkan

P_{MPP} = Daya maksimum keluaran panel surya (W)

E. Perhitungan Keluaran Energi Panel Surya

Untuk menghitung keluaran energi yang dihasilkan dari sistem PLTS dapat menggunakan persamaan 2.12.

$$E_{out} = G_{AV} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{out} \times PV_{area} \quad (2.12)$$

Dimana :

E_{Out} = Energi yang dihasilkan sistem (kWh)

F. Perhitungan Densitas Energi Matahari yang Dibangkitkan PLTS

Densitas energi matahari merupakan perbandingan antara rata – rata keluaran daya PV dengan luas tempat instalasi. Untuk menghitung densitas energi matahari menggunakan persamaan 2.13.

$$\rho = \frac{E}{S} = \frac{\text{Total energi terbangkitkan}}{\text{Luas lahan}} \quad (2.13)$$

G. Kebutuhan *Solar Charge Controller* (SCC)

Untuk menentukan spesifikasi yang cocok untuk SCC pada sistem PLTS, dapat menggunakan persamaan 2.14.

$$I_{sc} = I_{sc \text{ Panel}} \times \text{Jumlah Panel} \quad (2.14)$$

Keterangan:

I_{sc} = Arus SCC (Ampere)

$I_{sc \text{ Panel}}$ = Arus yang terdapat pada Panel Surya

Jumlah Panel = Banyaknya Panel surya

Kemudian untuk menentukan jumlah SCC yang dibutuhkan dalam sistem PLTS, dapat menggunakan persamaan 2.15.

$$N_{sc} = \frac{\text{Total } W_p}{\text{Maks Output SCC}} \quad (2.15)$$

Dengan,

N_{sc} = Jumlah SCC

Total W_p = Jumlah Daya yang dihasilkan Panel

Maks Output SCC = Daya keluar Maksimal SCC

H. *Performance Ratio*

PR adalah ukuran suatu kualitas sistem dilihat dari energi tahunan yang dihasilkan. Apabila sistem tersebut nilai PR nya berkisar 70-90 %, maka sistem tersebut dapat dikatakan layak. Untuk mengetahui performance ratio maka dapat dihitung dengan persamaan dibawah.

$$PR = \frac{E_{sistem}}{E_{ideal}} \quad (2.16)$$

$$E_{ideal} = P_{array STC} \times H_{tilt} \quad (2.17)$$

Keterangan :

PR = Performance ratio (%)

E_{ideal} = Energi yang diperoleh dari PV pada saat PSH

H_{tilt} = Rata-rata radiasi harian

2.4 Pengaruh *Shading* pada PLTS Terapung

Shading atau bayangan merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kinerja modul surya. Karena PLTS terapung ditempatkan di area danau atau waduk, maka sangat berdekatan dengan objek pohon-pohon dan bangunan pendukung waduk. Bayangan yang dihasilkan dari objek dekat waduk akan cukup berpengaruh terhadap efektifitas modul surya. Selain dari objek dekat waduk, cuaca juga berpengaruh karena pergerakan awan juga menghasilkan bayangan yang menghalangi cahaya matahari.

Pengaruh bayangan terhadap output PLTS dipengaruhi oleh luasan bayangan dan konfigurasi optimal dari berbagai teknologi modul (Mansur, 2021). Efek bayangan bisa mengurangi radiasi matahari yang nantinya berakibat pada turunnya

energi yang dihasilkan oleh sistem. Namun, ketika bayangan hanya terjadi di sebagian array, maka akan ada pengurangan tegangan maksimum (Rohana et al., 2023). Efek *partial shading* dapat mengakibatkan penurunan keluaran daya yang dihasilkan sebesar 88% dari total daya jika panel sel surya tertutup total (Fadhil Yahya, 2023).

Efek dari *shading* atau bayangan terhadap sebuah sel surya mengakibatkan energi mengalami *loss* atau tidak terserap. Presentase *loss* nya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Efek bayangan terhadap loss energi (Wiranda, 2015)

Presentase Bayangan Dalam Satu Sel	Presentase <i>Loss</i> Dari Modul Surya
0%	0%
50%	50%
100%	88%

2.5 Kualitas Daya

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus, atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan – peralatan yang terjadi pada konsumen (Satriawan, n.d.). Untuk menentukan apakah kualitas daya suatu sistem dapat dikatakan baik dengan melihat beberapa parameter seperti nilai jatuh tegangan, rugi-rugi daya, harmonisa, ketidakseimbangan beban, faktor daya. Karena pada penelitian ini beban menggunakan arus DC, maka tidak membahas tentang ketidakseimbangan beban, harmonisa, dan faktor daya. Dalam prinsip nya rugi-rugi

daya ialah arus yang mengalir pada sebuah penghantar akan menghasilkan rugi-rugi daya (P_{loss}) dalam bentuk panas (Atmajaya et al., n.d.). Faktor rugi-rugi daya dalam distribusi energi listrik diakibatkan oleh adanya impedansi di peralatan pembangkit atau distribusi yang mengakibatkan hilangnya daya listrik. Rugi- rugi daya dan jatuh tegangan menurut SPLN no. 72 tahun 1987 untuk tegangan rendah harus dibawah dari 4%. Dalam hal distribusi energi dari PLTS terpusat ke beban PJU, peralatan penghantar menjadi faktor utama dalam terjadinya rugi-rugi daya. Untuk menghitung rugi-rugi daya, dapat menggunakan persamaan 2.18 dan 2.19.

$$P_{loss} = I^2 \times R \quad (2.18)$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.19)$$

Dimana :

P_{loss} = Susut daya (W)

I = Arus beban (A)

R = Hambatan dalam penghantar (Ω)

ρ = Hambatan jenis penghantar (Ω/m)

L = Panjang penghantar (m)

A = Luas penampang (m²)

Karena hilangnya daya pada distribusi, maka berpengaruh juga terhadap hilangnya energi yang didistribusikan. Untuk menghitung energi yang hilang dapat menggunakan persamaan 2.20.

$$E_{loss} = P_{loss} \times t \quad (2.20)$$

Dimana :

E_{loss} = Energi yang hilang (Wh)

P_{loss} = Daya yang hilang dalam penghantar (W)

t = Waktu (jam)

Untuk menentukan persentase rugi-rugi energi listrik dalam pendistribusian dapat menggunakan persamaan 2.21.

$$Rugi\ daya\ dalam\ \% = \frac{Energi\ Losses}{Energi\ total} \quad (2.21)$$

Untuk menentukan nilai jatuh tegangan dari sistem sampai ke beban menggunakan persamaan 2.22.

$$Drop\ tegangan = \frac{2 \times I \times R_c \times L}{1000} \quad (2.22)$$

Dimana :

V_{dc} = Drop tegangan

I = Arus beban penuh atau arus nominal atau arus saat start (A)

R_c = Resistansi dc kabel (Ω / km)

L = Panjang kabel (m)

2.6 Penerangan Jalan Umum

Lampu penerangan jalan adalah bagian dari bangunan pelengkap jalan yang dapat diletakkan/dipasang di kiri/kanan jalan dan atau di tengah (di bagian median jalan) yang digunakan untuk menerangi jalan maupun lingkungan disekitar jalan yang diperlukan termasuk persimpangan jalan (intersection), jalan layang (interchange, overpass, fly over), jembatan dan jalan di bawah tanah (underpass, terowongan) (Effendi & Aldifian, 2012). Untuk menentukan penggunaan PJU,

harus melihat jenis dan kondisi jalan. Kampus Universitas Siliwangi mugarsari tergolong jalan lokal yang dimana memiliki beberapa karakteristik. Karakteristik jalan lokal dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik jalan lokal (Ananda Fajar Prakoso, 2021).

Deskripsi	Jalan Lokal
Kecepatan	>20 km/jam
Lebar Jalan	<5 meter
Daya Lampu	>30 Watt
Jarak Tiang	30 meter

2.6.1 Klasifikasi Jenis PJU

Penerangan jalan umum dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis tiang dan sensor yang digunakan. Klasifikasi tersebut sebagai berikut.

A. Berdasarkan jenis tiang

1. Lengan tunggal, tiang ini ditempatkan pada sisi kanan atau kiri jalan. Contoh desain tiang lengan tunggal dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Tiang lengan tunggal (Ananda Fajar Prakoso, 2021).

2. Lengan ganda, jenis tiang yang ditempatkan di tengah jalan atau median jalan, dengan kondisi jalan yang mampu diterangi oleh satu tiang. Contoh desain tiang ini dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Tiang lengan ganda (Ananda Fajar Prakoso, 2021).

3. Tanpa lengan, tiang ini biasanya digunakan untuk lampu pada menara. Umumnya lampu ini digunakan pada tempat atau lahan luas. Contoh desain tiang tanpa lengan dapat dilihat pada gambar 2.23.



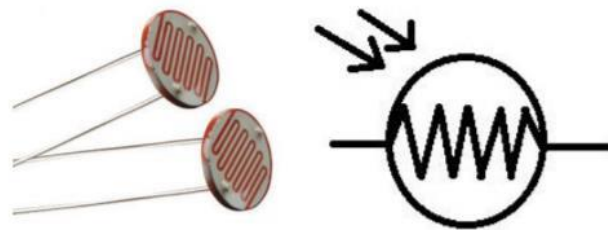
Gambar 2.23 Tiang tanpa lengan (Ananda Fajar Prakoso, 2021).

B. Berdasarkan jenis sensor yang dipakai

1. LDR (*Light Dependent Resistor*)

Sensor LDR merupakan sensor yang resistansi nya berubah-ubah sesuai dengan cahaya yang tertangkap pada sensor. Besarnya nilai dari hambatan sensor sangat bergantung pada besar atau kecilnya cahaya yang diterima. Semakin besar cahaya yang diterima sensor maka akan semakin besar pula hambatan dari sensor tersebut. Begitupun sebaliknya, semakin kecil cahaya yang diterima oleh sensor maka semakin kecil juga nilai hambatan dari sensor. LDR adalah jenis resistor yang umumnya dipakai sebagai pendeteksi cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya.

LDR tersusun atas sebuah cakram semikonduktor yang memiliki dua buah elektroda pada permukaannya. Pada keadaan kurang cahaya atau gelap resistansi LDR sekitar $10\text{ M}\Omega$ dan ketika keadaan terang sebesar $1\text{K}\Omega$ atau kurang. LDR terbuat dari bahan semikonduktor yaitu senyawa kimia *cadmium sulfide*. Karena terbuat dari bahan ini, maka energi dari cahaya yang kurang atau tidak ada menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas yang dimana arus listrik akan meningkat, artinya resistansi bahan telah mengalami penurunan. Seperti halnya resistor konvensional, pemasangan LDR dalam suatu rangkaian sama persis seperti pemasangan resistor biasa (Aribowo et al., n.d.). Contoh sensor LDR dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Sensor LDR (Aribowo et al., n.d.).

2. *Timer Switch*

Timer switch adalah perangkat saklar otomatis yang memiliki prinsip kerja berdasarkan waktu, *timer* yaitu alat penunda waktu yang dimana batas dari penundaannya dapat ditentukan sendiri dengan cara mengatur *timer* tersebut sesuai dengan yang kita inginkan. Timer switch adalah saklar yang *ON* dan *OFF*-nya tergantung dengan waktu yang telah diatur dalam 24 jam sehari. Saklar waktu ini akan tetap beroperasi selama masih ada arus yang mengalir ke perangkat tersebut (Ananda Fajar Prakoso, 2021). Saklar waktu ini tidak mempengaruhi komponen apapun. Sebagai contoh prinsip kerja dari timer terhadap beban lampu, ketika *timer switch* diatur jam 18.00 sampai 06.00 (12 jam) maka lampu akan menyala sesuai dengan pengaturan timer dan tidak tergantung pada kondisi cuaca. Contoh *timer switch* dapat dilihat pada gambar 2.25.



Gambar 2.25 Timer switch (Ananda Fajar Prakoso, 2021).

2.7 Software PVSyst

PVSyst merupakan *software* atau perangkat lunak yang berfungsi untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), serta analisis data dari sistem PLTS. PVSyst memiliki beberapa fitur, yaitu simulasi sistem terinterkoneksi jaringan (grid-connected), sistem berdiri sendiri (stand-alone), sistem pompa (pumping), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (DC-grid) (Karuniawan, 2021). Sederhananya, PVSyst adalah perangkat lunak yang dirancang untuk membuat, mensimulasikan, dan menganalisis desain model sistem PLTS.

Simulasi yang digunakan pada PVSyst memiliki data yang lengkap seperti orientasi modul surya, lokasi dan iklim, beban listrik, dan lain-lain. Karena PVSyst memiliki *database* dari MeteoNorm, NASA, PVGIS, SolarGIS. Selain *database*, opsi fitur tingkat lanjut dari pemodelan sistem PLTS seperti pengaruh *shading* dan kelengkapan komponen pendukung PLTS lain.