

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² adalah sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m² /hari atau setara dengan 112.000 gWp yang didistribusikan.



Gambar 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)⁸

Pembangkit listrik tenaga Surya adalah moda baru pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Panas yang ditangkap kemudian digunakan untuk menghasilkan uap panas bertekanan, yang akan dipakai untuk menjalankan turbin sehingga energi listrik dapat dihasilkan. Prinsip panel surya adalah penggunaan solar panel atau sel photovoltaic yang terbuat dari silikon untuk menangkap sinar Matahari. Solar panel sudah banyak dipakai untuk kalkulator tenaga surya. Panel surya sudah banyak dipasang di atap bangunan dan rumah di daerah perkotaan untuk mendapatkan listrik dengan gratis.

Energi surya memiliki keunggulan – keunggulan dibandingkan dengan energi fosil, diantaranya :

- a. Sumber energi yang mudah didapatkan
- b. Ramah lingkungan
- c. Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis

⁸ <https://www.sanspower.com/panel-surya-prinsip-kerja-dan-kegunaan-yang-bisa-didapatkan.html>

- d. Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah
- e. Listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai.

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata – rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia berlangsung 4 – 5 jam per hari.

Efisiensi pemanfaatan PLTS dibutuhkan perencanaan yang baik dan akurat yaitu, sebagai berikut:

- a. Jumlah daya yang akan dibutuhkan dalam pemakaian sehari hari (watt/hour)
- b. Jumlah panel yang harus dipasang
- c. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan penggunaan tanpa sinar matahari

Besarnya biaya dalam penentuan harga sebuah solar panel didasarkan atas perhitungan harga per Watt Peak (WP), ini berlaku di pasar internasional untuk penentuan harga sebuah solar panel.

2.3 Solar Panel

Solar panel, atau *photovoltaic cell*, adalah peralatan yang mengubah cahaya menjadi aliran listrik dengan menggunakan efek *photovoltaic*. *Photovoltaic cell* pertama dibuat oleh *Charles Fritts* pada tahun 1880an. Pada tahun 1931, seorang insinyur Jerman, *Dr. Bruno Lange*, membuat *photovoltaic cell* menggunakan perak *selenida* ketimbang tembaga *oksida*. Walaupun sel selenium purwa rupa ini mengubah kurang dari 1% cahaya yang masuk menjadi listrik, *Ernst Werner von Siemens* dan *James Clerk Maxwell* melihat pentingnya penemuan ini. Dengan mengikuti kerja *Russel Ohl* pada tahun 1940an, peneliti *Gerald Pearson*, *Calvin Fuller*, dan *Daryl Chapin* membuat solar panel silikon pada tahun 1954. Biaya solar panel ini 286 dollar AS per watt dan mencapai efisiensi 4,5 - 6 %. Menjelang tahun

2012, efisiensi yang tersedia melebihi 20% dan efisiensi maksimum *photovoltaic* penelitian melebihi 40%.

Solar panel dapat menyerap gelombang elektromagnetik dan mengubah energi foton yang diserapnya menjadi energi listrik. Bagian terbesar solar panel adalah sebuah dioda. Dioda terbuat dari suatu semikonduktor dengan jurang energi ($E_c - E_v$). Ketika energi foton yang datang lebih besar dari jurang energi ini, foton akan diserap oleh semikonduktor untuk membentuk pasangan elektron-*hole*. Elektron dan *hole* kemudian ditarik oleh medan listrik sehingga menimbulkan *photocurrent* (*photocurrent* bisa juga dinamakan sebagai arus yang dihasilkan oleh cahaya). Solar panel mengubah cahaya menjadi listrik disebut surya, karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Solar panel sering kali disebut photovoltaic cell, photovoltaic dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik". Solar panel atau sel PV bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Besarnya pasangan elektron dan hole yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang jatuh pada solar panel. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, makin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan solar panel makin besar pula foton yang dimiliki sehingga makin banyak pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan yang akan mengakibatkan besarnya arus yang mengalir. Makin pendek panjang gelombang cahaya maka makin tinggi energi fotonnya sehingga makin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga berimplikasi pada makin besarnya arus yang mengalir. Prinsip kerja solar panel adalah sebagai berikut: Cahaya yang jatuh pada solar panel menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan hole yang bermuatan negatif kemudian elektron dan *hole* mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini di kenal sebagai prinsip *photoelectric*. Secara sederhana solar panel terdiri dari sambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron sehingga kelebihan

muatan negatif ($n = \text{negatif}$), sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan *hole* sehingga kelebihan muatan positif ($p = \text{positif}$).

Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah *absorber* (penyerap), meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari solar panel. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik sesuai dengan frekuensinya, oleh karena itu maka *absorber* diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari yang berasal dari cahaya matahari.²



Gambar 2.3 Solar panel⁹

2.3.1 Prinsip Solar Panel

Ilmu mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik dikenal sebagai *photovoltaic* (PV), mengacu pada foton cahaya dan volt listrik. Cara kerja PV (Panel surya, yang disebut dengan modul PV) mengandung sel surya, yang biasanya terbuat dari lapisan silikon, semikonduktor bahan terbuat dari pasir (juga bernama *Silicon Valley*). Ketika foton cahaya memasuki sel surya, mereka diserap dan membangkitkan elektron di lapisan silikon, menyebabkan mereka bergerak dan, pada akhirnya, mengalir terus menerus melalui rangkaian kabel yang masuk ke sistem PV. Memanfaatkan aliran elektron inilah yang memberi Anda daya listrik. Listrik yang dihasilkan oleh modul PV (dan digunakan oleh semua baterai) adalah arus searah (DC), di mana semua elektron bergerak dalam satu arah saja. Sistem kelistrikan rumah Anda dan sebagian besar peralatan menggunakan daya arus bolak-balik keluaran, di mana elektron bergerak maju mundur, arah bolak-balik

² Suhendar.2022. Dasar-Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Hal 24, 28-29

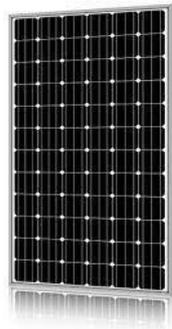
⁹ <https://outbax.com.au/voltx-12v-160w-solar-panel-kit-mono-fixed-rv-camping-portable-battery-charger>

sekitar 60 kali per detik. Oleh karena itu, sistem PV menyertakan satu atau lebih *inverter* yang mengubah listrik DC yang dihasilkan surya menjadi daya AC yang dapat digunakan untuk rumah Anda (dan, dengan sistem yang terikat jaringan, untuk dijual kembali ke jaringan utilitas). Semua sistem PV rumah dimulai dengan kumpulan modul surya-listrik, yang disebut susunan PV. *Array* dapat dipasang di atap atau di tanah. Modul dalam *array* biasanya dihubungkan bersama dalam kelompok, masing-masing disebut *seri-string*. *Senar-seri* disambung di dekat larik pada kotak penggabung atau perangkat lain, dan pengkabelan dari kotak membawa daya ke komponen sistem lainnya di permukaan tanah. Komponen pertama yang terhubung dengan jalur suplai ini bergantung pada jenis sistem.³

2.3.2 Jenis-Jenis Solar Panel

a Monokristal (*Mono-crystallin*)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



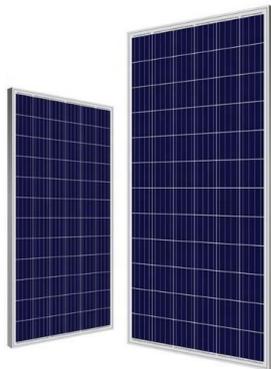
Gambar 2.4 Monokristal (*Mono-crystalline*)¹⁰

³ Wibowo, Agus. 2022. Instalasi Panel Listrik Surya. Hal 1

¹⁰ <https://outbax.com.au/voltx-12v-160w-solar-panel-kit-mono-fixed-rv-camping-portable-battery-charger>

b Polikristal (*Poli-crystallin*)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikan dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih bandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.



Gambar 2.5 Polikristal (*Poli-crystalline*)¹¹

c *Thin Film Photovoltaic*

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari pada monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang diterima setara.



Gambar 2.6 *Thin Film Photovoltaic*¹²

¹¹ <https://unboundsolar.com/shop/solar-panels/poly>

¹² <http://www.alat2listrik.com/information/170>

2.3.3 Faktor Pengoperasian Solar Panel⁴

Pengoperasian maksimum Solar Panel sangat tergantung pada faktor – faktor sebagai berikut :

1. Temperatur

Sebuah Solar Panel dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap normal pada temperature 25°C kenaikan temperatur dari temperatur normal pada Solar Panel akan melemahkan tegangan (V_{oc}) yang dihasilkan. Setiap kenaikan temperatur Solar Panel 1°C dari 25°C akan menghitug besarnya daya yang berkurang pada saat temperature mengalami kenaikan dari temperatur standarnya.

2. Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari akan berpengaruh pada daya ac Solar Panel Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh Solar Panel maka arus (I_{sc}) akan semakin rendah

3. Kecepatan Angin

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi Solar Panel dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca Solar Panel yang terkena panas sinar matahari.

4. Keadaan Atmosfir Bumi.

Keadaan atmosfir bumi seperti berawan, mendung, partikel debu udara, asap uar air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari deretan Solar Panel.

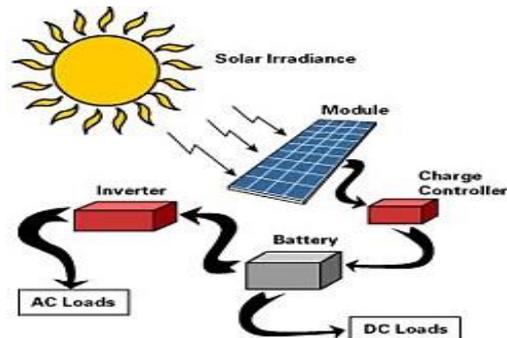
5. Sudut Orientasi Matahari (*Tilt Angle*) dan peletakan Solar Panel

Agar energi tetap berada pada nilai yang optimal maka permukaan Solar Panel harus dipertahankan tegak lurus terhadap sinar matahari yang jatuh ke permukaan Solar Panel, oleh karena itu penentuan *tilt angle* sangat penting untuk mempertahankan energi matahari yang di hasilkan

⁴ Suhendar. (2022). *DASAR DASAR PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA*. (D. Tesniyadi, Ed.) Serang

2.4 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

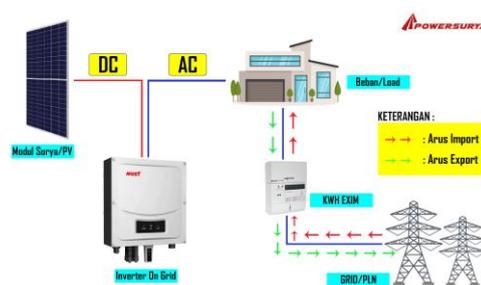
Prinsip kerja PLTS dan konfigurasi seluruh komponen pada umumnya memanfaatkan panel surya untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, perbedaannya terletak pada sistem yang dipilih untuk mengkonfigurasi komponen PLTS.



Gambar 2.7 Cara Kerja Solar panel¹²

2.4.1 Sistem PLTS *On-Grid*⁵

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV System* adalah system pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui solar panel atau *photovoltaic* modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin.



Gambar 2.8 Sistem PLTS *On-Grid*¹³

¹² <https://tenagamatahari.wordpress.com/beranda/konsep-kerja-sistem-plts/>

⁵ Ryan Rezky Ramadhana, Muh. Iqbal M., Abdul Hafid, Adriani, jurnal PLTS On-Grid

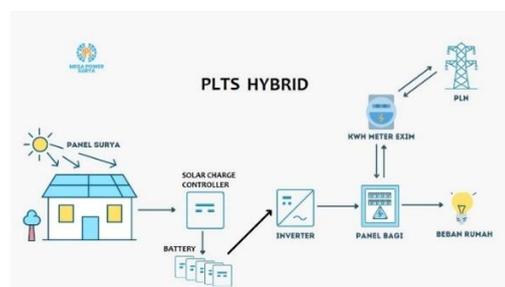
¹³ <https://id.quora.com/Apa-perbedaan-sistem-off-grid-dan-on-grid-pada-sistem-solar-Mana-yang-lebih-menguntungkan>

2.4.2 Sistem PLTS Hybrid

PLTS Hybrid adalah pembangkit listrik yang menggabungkan sumber energi tenaga surya dengan sumber energi lain. Listrik yang dihasilkan PLN tentu tidak hanya dari PLTA, ada juga dari PLTG, PLTD, PLTB, dan lain sebagainya. Inilah yang disebut hybrid, karena menggabungkan berbagai sumber listrik dari diesel, gas, panas bumi, dan bayu (angin). PLTS hybrid adalah gabungan sistem PLTS dengan sistem pembangkit listrik energi baru terbarukan lain.

Tujuannya untuk menjaga kesinambungan suplai energi dan mengoptimalkan penunggunaan energi hijau. Jika berada pada definisi ini maka PLTS Hybrid hanya menggunakan sumber energi terbarukan dan tidak memakai energi listrik yang dihasilkan menggunakan minyak, gas, dan batu bara.

Adapula yang mendefinisikan PLTS Hybrid adalah pembangkit listrik tenaga surya yang mengkombinasikan sistem pasokan energinya dengan baterai tenaga surya, jaringan PLN, dan genset. Singkatnya, PLTS hybrid mengeliminasi semua kekurangan dari sistem on-grid dan off-grid, kemudian menggabungkan keunggulannya menjadi satu.



Gambar 2.9 Sistem PLTS hybrid¹⁴

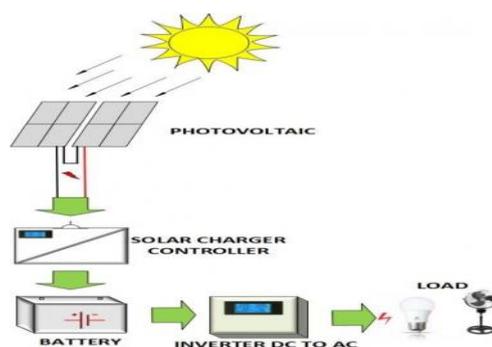
2.4.3 Sistem PLTS *Off-Grid*

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan system pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau *photovoltaic*. Untuk dapat menghasilkan energi listrik system PLTS *Off-Grid*

¹⁴ <https://www.megapowersurya.com/pemasangan-plts-hybrid/>

sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari.

Sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. *Stand-alone* PV system atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN.



Gambar 2.10 PLTS *Off-Grid* ¹⁵

2.5 Komponen-Komponen Panel Surya

2.5.1 *Solar Charge Controller*

Controller atau sering dikenal dengan *charge controller* adalah perangkat elektronik yang digunakan dalam sistem PLTS untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). Alat ini juga mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah terisi penuh dengan cadangan energi listrik maka penyaluran energi listrik dari panel akan dapat diberhentikan secara otomatis. *Controller* mengatur *over charging* dan kelebihan voltase dari panel surya / solar cell. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai. Cara alat ini mendeteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Charge Controller* menerapkan teknologi pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi

¹⁵ <https://id.quora.com/Apa-perbedaan-sistem-off-grid-dan-on-grid-pada-sistem-solar-Mana-yang-lebih-menguntungkan>

pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Jadi tanpa solar charge controller, baterai akan rusak oleh *over charging*, *over voltage* dan monitoring temperatur baterai.



Gambar 2.11 *Solar Charge Controller*¹⁶

2.5.2 Baterai

Baterai berfungsi untuk menyimpan energi listrik. Energi listrik yang tersimpan didalamnya dapat digunakan ketika pembangkit listrik tenaga surya sedang tidak beroperasi (saat malam hari) atau ketika tidak dapat bekerja secara optimal (saat cuaca mendung). PLTS memakai baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable, secondary*). Siklus baterai (*cycle life*) didefinisikan sebagai jumlah siklus pengisian (*charge*) dan pemakaian (*discharge*) yang dapat diselesaikan sebelum baterai tersebut kehilangan fungsi/kinerjanya. Hal tersebut diformulasikan pada suatu nilai *DoD* dan suhu tertentu. Karakteristik baterai dinyatakan oleh *Depth of discharge (DoD)*. Besaran ini juga dapat dinyatakan sebagai besarnya kapasitas baterai yang diambil selama baterai dimanfaatkan. Kapasitas baterai dinyatakan dalam ampere jam (*Ampere Hour/Ah*). Variabel *DoD* dinyatakan dalam persentasi dari kapasitas penuh energi yang disimpan baterai.

Makin dalam/besar baterai tersebut dipakai (*discharge*), makin pendek prediksi umurnya. Sebagai contoh, jika baterai memakai 10% dari kapasitas total energinya, maka 90% kapasitasnya tersebut tidak termanfaatkan. Ini dinyatakan sebagai *DoD* 10%. 36 Baterai ini akan mampu melayani lebih banyak siklus pengisian kembali (*charging cycle*) daripada baterai yang dimanfaatkan dengan mengambil lebih banyak dari kapasitas penuh energinya (*deep discharge*), misal *DoD* 80% atau lebih. Lebih lanjut sebagai contoh, sebuah baterai dengan tegangan 12 V dan kapasitas 100 Ah dapat menyimpan energi listrik sebesar 12 V x 100 Ah

¹⁶ <https://www.sanspower.com/solar-charge-control-untuk-panel-surya-ramah-lingkungan.html>

= 1200 Wh. Jika *DoD*-nya adalah 75%, maka energi yang dapat dimanfaatkan adalah 900 Wh, dengan kapasitas yang tersisa sebesar $300 \text{ Wh}/12 \text{ V} = 25 \text{ Ah}$.⁶



Gambar 2.12 Baterai¹⁷

2.5.3 Inverter

Inverter adalah komponen elektronika pendukung panel PV untuk mengubah arus searah (*direct current*, DC) menjadi arus bolak-balik (*alternating current*, AC) yang umumnya peralatan listrik butuhkan. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu tergantung pada kebutuhan beban dan juga kepada sistem itu sendiri; apakah sistem yang terhubung ke jaringan listrik (*grid connected*) atau sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*). Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sekitar 90%. Ada tiga kategori inverter, yaitu: *grid-tied*, *grid-tied dengan baterai cadangan*, dan *stand-alone*. Kedua jenis inverter yang pertama adalah inverter *line-tied*, yang di gunakan dengan sistem panel surya utility-connected. Jenis yang ketiga adalah *stand-alone* diciptakan untuk berdiri sendiri.



Gambar 2.13 Inverter

⁶ Budiarto, Rachmawan, dkk. 2017. Energi Surya Untuk Komunitas Meningkatkan Produktivitas Masyarakat Pedesaan Melalui Energi Terbarukan. Hal 35-36

¹⁷ <https://www.tokoakionline.com/incoe-n100-95e41r/>

Ada beberapa jenis gelombang pada inverter antara lain:

1. *Square Wave* / Gelombang Kotak

Inverter jenis ini hanya bisa untuk lampu saja, sedangkan untuk beban seperti TV, komputer bisa merusak inverter dan juga bisa merusak beban. Kelebihannya harganya lebih murah karena difungsikan untuk membackup lampu saja. Seiring perkembangan zaman maka inverter *square wave* ini jarang dijual dipasaran dikarenakan keinginan dari pasar menginginkan untuk membackup selainlampu.

2. *Modified Sine Wave* / Gelombang Modifikasi Sinus

Di belahan dunia juga Indonesia produk inverter dengan jenis inverter *modified sine wave* ini sering digunakan untuk beban seperti lampu, kipas, komputer, TV, dan lain-lain. Jenis inverter *modified sine wave* yang beredar pun ada yang memberikan Low noise atau berarti sangat kecil kebisingan suara yang dihasilkan saat beroperasi, dan ada juga yang menghasilkan noise yang besar.

3. *True Sine Wave* / *Pure Sine Wave* / Gelombang Sinus Murni

Dari segi harganya, untuk yang berkualitas harga diatas, harga inverter *modified sine wave*. Aplikasi yang cocok dari inverter *pure sine wave* adalah speaker dan peralatan sensitif seperti alat kedokteran.

2.5.4 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Miniature Circuit Breaker atau Miniatur Pemutus Sirkuit adalah sebuah perangkat elektromekanikal yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian listrik dari arus yang berlebihan. Dengan kata lain, MCB dapat memutuskan arus listrik secara otomatis ketika arus listrik yang melewati MCB tersebut melebihi nilai yang ditentukan. Namun saat arus dalam kondisi normal, MCB dapat berfungsi sebagai saklar yang bisa menghubungkan atau memutuskan arus listrik secara manual.



Gambar 2.14 *Miniature Circuit Breaker*

2.5.5 Kabel

Kabel berfungsi untuk menghubungkan antara Solar Panel dengan alat alat lainnya. Untuk kabel yang digunakan harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, standar kabel juga tersedia didalam Pedoman Umum Instalasi Listrik (PUIL). Kabel yang digunakan juga harus tahan cuaca dan tahan sinar ultraviolet.



Gambar 2.15 Kabel¹⁹

2.6 Komponen Pendukung Rangkaian PLTS

2.6.1 Cermin Datar / Reflektor

Cermin datar adalah cermin yang memiliki permukaan datar seperti garis lurus. Bayangan benda yang dibentuk dari cermin datar memiliki ukuran dimensi ukuran (panjang + lebar) yang sama dengan dimensi benda. Jarak yang dihasilkan antara benda dan cermin sama dengan jarak yang dihasilkan oleh cermin dan bayangan. Sifat bayangan cermin datar yang terbentuk tegak, maya dan sama besar. Salah satu contoh cermin datar adalah cermin lemari dan cermin rias.

Adapun ciri -ciri cermin datar yakni :

1. Cermin datar tentunya memiliki bentuk datar, tidak cembung maupun cekung. Selain datar, cermin datar juga halus, karena terbuat dari kaca sehingga bentuk bayangan menjadi bersih dan jernih.
2. Cermin datar memiliki bentuk bayangan bersifat maya, tegak dan sama besar.
3. Bayangan yang dihasilkan pada cermin datar tegak dan terbalik atau benda yang di sebelah kiri akan menjadi bayangan di kanan dan sebaliknya.

¹⁹ <https://shopee.co.id/Kabel-Solar-Panel-Panel-Surya-Twin-Solar-Panel-Akiku-Visero-2x2-5mm-per-MTR-i.193096685.3205998436>

4. Terdapat logam tipis dan mengkilat dibagian belakang cermin. Tujuan adanya logam tipis pada cermin bertujuan untuk mencegah cahaya agar tidak tembus ke belakang



Gambar 2.16 Cermin Datar²⁰

2.7 Persamaan Solar Panel⁷

Daya listrik yang dihasilkan oleh solar panel merupakan hasil perkalian dari tegangan ac dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus. Berikut ini adalah persamaan dari solar panel.

2.7.1 Perhitungan Daya *Output* Beban

$$P = V.I \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

P : Daya Ac (Watt)

V : Tegangan Ac (Volt)

I : Arus (Ampere)

2.7.2 Perhitungan Daya Rata-Rata

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \dots P_n}{n} \dots \dots \dots (2.2)$$

²⁰ <https://shopee.co.id/-Free-Packing-Kayu-Cermin-Gantung-Cermin-Dinding-Cermin-Rias-Uk.-90-%C3%97-35-i.362871316.9414266289>

⁷ Marniati, Y., Yani, H., Nofiansah, & Siswandi. (2021). The Effectiveness of Solar Panels from the Installation Location. 9.

Dimana :

- $P_{rata-rata}$: Daya rata-rata (Watt)
 P_1 : Daya pada titik pengujian ke satu
 P_2 : Daya pada titik pengujian ke dua
 P_n : Daya pada titik pengujian ke n
 N : Jumlah P_1 s/d P_n

2.7.3 Luas Panel Surya

Luas modul panel surya yang digunakan menunjang seberapa besarnya daya yang mampu diserap oleh panel surya tersebut dapat dihitung sebagai berikut

$$A = P \times L \dots\dots\dots (2.3)^8$$

Dimana :

- A : Luas Permukaan Modul Surya (m^2)
 P : Panjang Modul Surya (m)
 L : Lebar Modul Surya (m)

2.7.4 Fill Factor

Fill factor (FF) atau Faktor pengisian merupakan harga yang mendekati suatu sel *photovoltaic* dengan konstanta tertentu. Perbandingan antara daya maksimum yang didapat pada beban dengan perkalian (I_{sc}) dan (V_{oc}).

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- FF : *Fill factor* (faktor pengisian solar panel)
 V_{max} : Tegangan pada titik kerja maksimum
 I_{max} : Arus pada titik kerja maksimum

⁸ Op.cit hal86-87

V_{ac} : Tegangan rangkaian terbuka (open circuit)

I_{sc} : Arus hubung singkat (short circuit)

2.7.5 Efisiensi

$$\eta = \frac{V_{rata-rata} \times I_{rata-rata} \times FF}{I_{max} \times A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

η : Efisiensi

$I_{r \max}$: Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

A : Luas panel (m^2)

$V_{rata-rata}$: Tegangan rata-rata (V)

I_{sc} : Arus rata-rata (I)

FF : *Fill factor* (faktor pengisian solar panel)

2.8 Jenis-Jenis Beban

2.8.1 Lampu

1. Lampu Halogen

Lampu jenis ini merupakan lampu spot yang baik. lampu spot adalah Lampu yang cahayanya mengarah ke satu area saja, misalnya lampu untuk menerangi benda seni secara terfokus. Lampu ini baik untuk digunakan sebagai penerangan taman untuk membuat kesan dramatis dari pencahayaan terpusat seperti menerangi patung, tanaman, kolam atau area lainnya. Jenis lampu sebenarnya merupakan lampu filamen yang sudah berhasil dikembangkan menjadi lebih terang, namun juga kebutuhan energi (watt) yang relatif sama.



Gambar 2.17 Lampu Halogen²¹

²¹ https://cdnaz.cekaja.com/media/2021/02/261_Artikel-CA21-merk-lampu-halogen-mobil-terbaik.jpg

2. Lampu Pijar

Jenis ini berpijar kawat filamennya saat aliran listrik mengalirinya. Pijaran kawat inilah yang berubah menjadi cahaya. Jenis lampu ini sangat mudah menyala tetapi sangat panas untuk pemakaian yang relatif lama. Oleh karena itu, lampu jenis ini boros energi. Warna cahaya lampu pijar adalah kuning. lampu ini membutuhkan lebih banyak energi dibandingkan lampu TL untuk mendapatkan tingkat terang yang sama. lampu pijar atau bohlam biasa ini hanya bertahan 1000 jam atau untuk rata-rata pemakaian 10 jam sehari semalam, hanya bertahan kira-kira 3 – 4 bulan, dan setelah itu kita harus membeli bohlam baru.



Gambar 2.18 Lampu Pijar²²

3. Lampu TL

Lampu ini menyala sebab adanya bahan fosfor yang mengubah sinar ultraviolet menjadi cahaya. Jenis lampu ini lebih terang dan hemat dibandingkan lampu pijar. Saat ini lampu TL bentuknya bermacam-macam, ada yang bentuknya memanjang biasa, bentuk spiral atau tornado, dan ada juga yang bentuk memanjang vertikal dengan fitting (bentuk pemasangan ke kap lampu) yang mirip seperti lampu pijar biasa. lampu TL lebih hemat energi dibandingkan lampu pijar, karena lebih terang. Untuk lampu TL yang baik bisa bertahan 15.000 jam atau setara dengan 10 tahun pemakaian

²² <https://upload.jaknot.com/2018/04/images/products/f03bfa/original/lampu-pijar-vintage-model-bohlam-edison.jpg>



Gambar 2.19 Lampu TL²³

4. Lampu LED

lampu ini merupakan sirkuit semikonduktor yang memancarkan cahaya ketika dialiri listrik. Sifatnya berbeda dengan filamen yang harus dipijarkan (dibakar) atau lampu TL yang merupakan pijaran partikel. lampu LED memancarkan cahaya lewat aliran listrik yang relatif tidak menghasilkan banyak panas. Karena itu lampu LED terasa dingin dipakai karena tidak menambah panas ruangan seperti lampu pijar. Lampu LED juga memiliki warna sinar yang beragam, yaitu putih, kuning, dan warna-warna lainnya. Satu varian bentuk lampu LED, dimana bentuk lampu LED yang menggantikan bohlam bisa bermacam-macam. Yang pasti adalah lampu LED merupakan lampu berisi kumpulan LED kecil dengan warna putih atau kuning. lampu LED merupakan lampu paling hemat energi diantara jenis lampu lainnya, meskipun harganya relatif mahal.



Gambar 2.220 Lampu LED²⁴

5. Lampu Sorot

Lampu sorot adalah jenis lampu yang digunakan untuk memberikan cahaya yang terang dan fokus pada suatu objek atau area tertentu. Lampu sorot mobil

²³ <https://siplahelkom.com/public/products/150081/3104110/lampu-tl.1638256388.jpg>

²⁴ <https://assets-a1.kompasiana.com/items/album/2021/12/15/light-bulb-g7e76137c2-1920-61b97cb106310e5cfe27b453.jpg>

atau lampu tembak memiliki banyak kegunaan terutama sebagai penerangan tambahan di malam hari.



Gambar 2.21 Lampu Sorot²⁵

2.8.2 Kipas Angin

Kipas angin merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menghasilkan angin dan memberikan kesejukan pada ruangan atau lingkungan yang diinginkan. Adapun cara kerja dari kipas angin Arus listrik mencapai motor, kemudian memasuki gulungan kawat yang melilit dasar logam. Saat arus ini melewati kawat, timbul medan magnet yang mengeluarkan gaya dalam gerakan searah jarum jam yang benar-benar mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.



Gambar 2.22 Kipas Angin

²⁵https://res.cloudinary.com/ruparupacom/image/upload/h_1000,w_1000,f_auto/f_auto,q_auto:eco/v1510337123/Products/10122504_1.jpg