

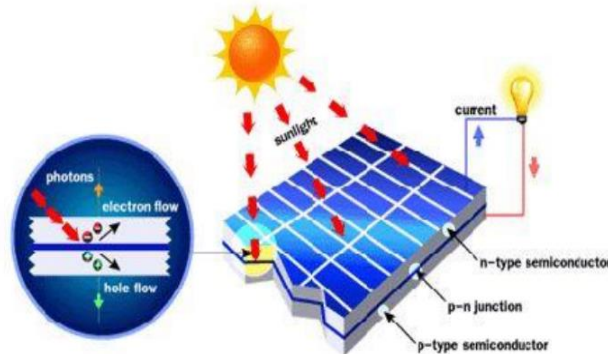
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Sel surya adalah seperangkat modul untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. *Photovoltaic* biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut solar panel. Dalam sebuah solar panel terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel.

Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semi konduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek photovoltaic. Sel surya mulai populer akhir-akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu global warming. Energi yang dihasilkan juga sangat murah karena sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis.



Gambar 2.1 Skema Sel Surya ³

Energi terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan.

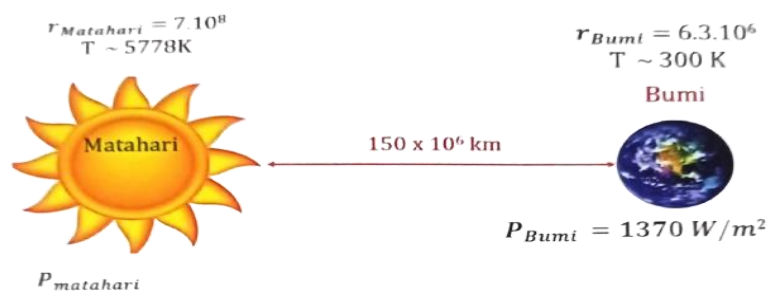
Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS atau lebih dikenal dengan sel surya (sel fotovoltaik) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang relevan

dan di berbagai tempat seperti perkantoran, pabrik, perumahan, dan lainnya. Di Indonesia yang merupakan daerah tropis mempunyai potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5 - 4,8 KWh/m² / hari. Akan tetapi energi listrik yang dihasilkan sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem.³

2.2 Sumber Energi Surya

Matahari merupakan pabrik tenaga nuklir dengan proses fusi yang mengubah 4 ton massa hydrogen menjadi helium tiap detiknya dan menghasilkan energi 1020kJoule/detik. Potensi energi surya sangat bergantung pada posisi kedudukan matahari dengan kordinat wilayah tersebut di permukaan bumi dimana hal ini akan berubah tiap waktu, sudut datang, tergantung kondisi atmosfer. Matahari memancarkan gelombang dalam seluruh spektrum (gelombang radio – sinar gamma).

Sinar matahari membutuhkan waktu sekitar 8,3 menit untuk mecapai bumi dari permukaan matahari sebuah foton mulai di pusat matahari dan mengubah arah setiap kali bertemu dengan sebuah partikel bermuatan akan memakan waktu antara 10.000 daj 170.000 pertahun ntuk sampai ke permukaan. Jumlah total radiasi yang di terima di permukaan bumi tergantung 4 faktor yaitu, yang pertama jarak matahari. Setiap perubahan jarak bumi dan matahari menimbulkan variasi penerimaan energi matahari. Intensitas radiasi ²



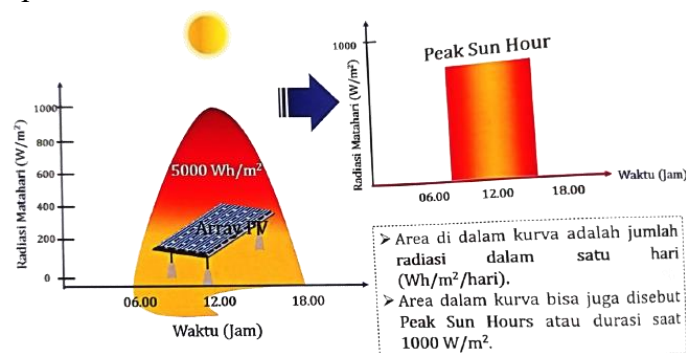
Gambar 2.2 Jarak Matahari Ke Bumi ¹

³ Nelly, Safitri, Rihayat Teuku, and Riskina Shafira, *Teknologi Photovoltaic*, Edisi Pertama (Banda Aceh: YayasanPuga Aceh Riset, 2019). Hlm 2-3

² Handoko, Iskandar Rusiana, *Praktis Belajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, Edisi Pert (Yogyakarta: DEPUBLISH, 2020).

2.2 Waktu Puncak Matahari (*Peak Sun Hour*)

Peak Hour Sun adalah lamanya waktu dalam jam pada tingkat radiasi $1 \text{ kW} / \text{m}^2$ yang diperlukan untuk menghasilkan iradiasi harian yang diperoleh dari integrasi keseluruhan jam siang hari iradians. Daya surya diukur dalam (W / m^2), $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ disebut sebagai “ *Peak Sun Hour* “ atau “ *Sun Hour* “ yang berarti waktu lamanya matahari memancarkan sinarnya dikonversi ke dalam PSH. Setiap lokasi memiliki jumlah energi matahari yang berbeda. Gambar 2.2 menunjukkan lamanya waktu penyinaran *sun duration*, yaitu waktu ketika matahari terbit hingga matahari terbenam serta pengaruh atmosfer yang menyerap sinar. Kurva PSH menunjukkan jumlah radiasi dalam satu hari dan rata – rata PSH adalah 4 – 5 jam. *Logger* yang diukur selama 1 minggu. Harus kita pahami ketika melakukan pengukuran daya *output* PLTS, besar daya maksimum yang bisa kita peroleh adalah ketika nilai *irradiance* dan temperature sesuai dengan *Standar Test Condition* (STC). Ini membuktikan dengan nilai *irradiance* tertentu pada saat bukan jam PSH, besar daya *output* PLTS akan rendah tidak setinggi daya puncak (W_p) seperti pada *nameplate* solar panel.²



Gambar 2.3 Kurva Radiasi *Peak Sun Hour*¹

2.3 Sudut Elevasi Matahari

Sudut elevasi (sudut ketinggian) adalah ketinggian sudut dari matahari di langit dihitung dari horizontal. Ketinggian dan elevasi juga digunakan untuk menjelaskan ketinggian dalam meter dari permukaan laut. Elevasi adalah 0^0 pada

² Ibid Hlm 44

saat matahari terbit dan 90° saat matahari berada tepat di atas kepala (yang terjadi pada ekuinoks musim semi dan gugur di khatulistiwa). Sudut elevasi berubah sepanjang hari. Sudut elevasi juga bergantung pada derajat lintang sebuah lokasi dan hari dalam tahun.

Sudut kemiringan optimal menurut prespektif pandangan matahari secara konstan melewati awan. Hal ini ditandai dengan adanya rotasi 360° dalam 24 jam, dimana 15° dalam 1 jam dan 1° setiap 4 menit. Ketika matahari berada dalam garis horizon, sudut elevasi bedari di 0° . Sehingga agar solar panel berada langsung berhadapan dengan matahari, solar panel berada di sudut kemiringan 90° pada saat matahari berada di garis horizon

Sebuah parameter penting dalam proses desain sistem *Photovoltaic* adalah sudut elevasi maksimum, yaitu ketinggian maksimum matahari di bumi pada suatu waktu tertentu dalam satu tahun. Sudut elevasi maksimum ini terjadi pada tengah hari dan tergantung pada derajat lintang dan sudut deklinasi.²



Gambar 2.4 Sudut Elevasi Matahari ²

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari matahari menjadi energi listrik, konversi ini terjadi pada *photovoltaic* (PV) yang terdiri dari sel surya, sel surya merupakan lapisan – lapisan tipis dari silicon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya, apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari

² ibid hlm 52

ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu solusi yang dianjurkan untuk listrik di daerah pedesaan terpencil di mana sinar matahari melimpah dan bahan bakar sulit di dapat dan relatif lebih mahal ³. Alasan utama menggunakan teknologi *photovoltaic* ini adalah sebagai berikut :

- a. Sumber energi yang melimpah tanpa biaya
- b. Sumber energi tersedia di tempat dan tidak perlu diangkut
- c. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan PLTS yang relatif kecil
- d. Tidak perlu pemeliharaan yang sering dan dapat dilakukan oleh operator setempat yang terlatih.
- e. Ramah lingkungan, tidak ada emisi gas dan limbah cair atau padat yang berbahaya.



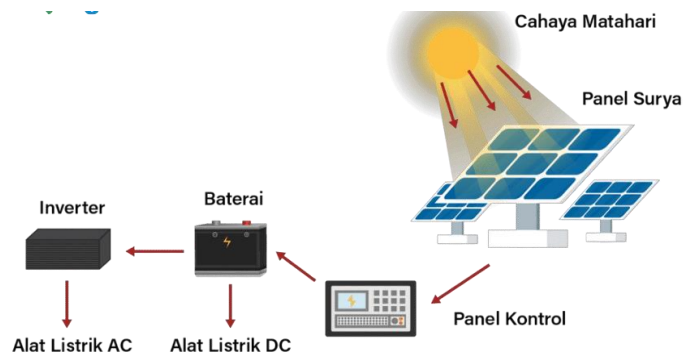
Gambar 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya⁹

2.5 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah alat yang menyediakan daya, dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang digunakan dari beban kecil sampai yang besar. Pada siang hari solar panel menerima cahaya matahari dari sudut kemiringan yang menyesuaikan dengan kondisi temperature sekitar yang kemudian diubah menjadi listrik melalui proses *photovoltaic*. Energi listrik yang dihasilkan oleh solar panel dapat disalurkan langsung ke beban atau bisa juga

³ Jamaaluddin, *Buku Petunjuk Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)* (UMSIDA Prerss, 2021).

disimpan di dalam baterai menggunakan *solar charger controller* (SCC) sebelum digunakan ke beban. Konversi terjadi pada solar panel yang terdiri dari sel-sel surya di solar panel. PLTS memanfaatkan matahari untuk menghasilkan listrik berarus DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik berarus AC (*Alternating Current*) menggunakan inverter.

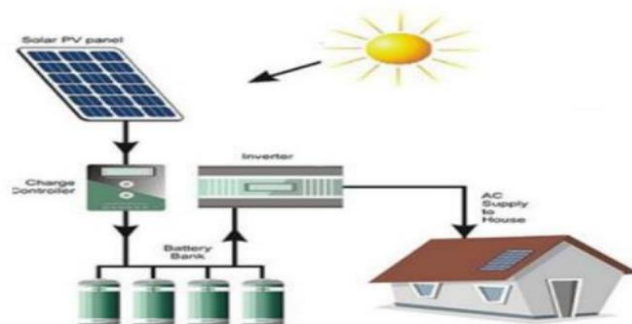


Gambar 2.6 Prinsip Kerja PLTS ¹

2.6 Jenis – jenis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.6.1 PLTS Sistem *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 solar panel atau *photovoltaic* kemudian menggunakan baterai sebagai kebutuhan listrik pada malam hari ²

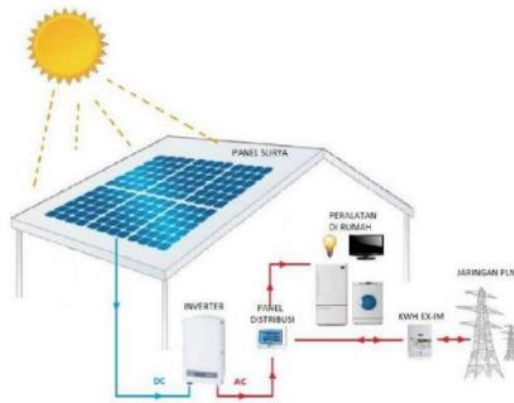


² Op.cit hlm 203, 211, 215

Gambar 2.7 Skema PLTS *Off Grid* ¹

2.6.2 PLTS Sistem *On – Grid*

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV System* adalah sistem 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* yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin ²



Gambar 2.8 Skema PLTS *On – grid* ²

2.6.3 PLTS Sistem *Hybrid*

PLTS sistem *Hybrid* adalah tenaga hibrida yang menggabungkan tenaga surya dari sistem *photovoltaic* dengan sumber energi pembangkit lainnya. Jenis yang umum sistem hibrida disel, atau diesel genset, karena *photovoltaic* hampir tidak memiliki biaya dan diperlakukan dengan prioritas pada grid. PLTS digunakan sebagai sumber atau pembangkit utama (primer) yang dikombinasikan dengan pembangkit lain sebagai sumber energi cadangan (Sekunder) yaitu genset atau PLTD²

2.7 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Komponen – komponen dalam Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah sebagai berikut :

2.7.1 Sel Surya

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya, beberapa foton dari cahaya diserap oleh atom semikonduktor untuk membebaskan ikatan atomnya sehingga menjadi elektron yang bergerak bebas, adanya perpindahan elektron – elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik ⁵

2.7.2 Solar Panel

Merupakan komponen utama yang harus ada dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya. Solar panel terdiri dari sebuah modul yang di dalamnya terangkai sel surya (sel-sel *photovoltaic*) secara seri dan parallel, dimana efek *photovoltaic* terjadi. Sel surya inilah yang berfungsi untuk merubah energi surya menjadi energi listrik.

Apabila beberapa Solar panel dirangkai, maka akan terbentuk suatu sistem pembangkit listrik tenaga surya. Kualitas sebuah solar panel, antara lain dinilai berdasarkan efisiensinya untuk mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik DC.

Namun karena banyak beban listrik yang membutuhkan suplai listrik AC, maka listrik DC yang dihasilkan oleh Solar panel harus dikonversi oleh inverter menjadi listrik AC. Solar panel yang efisiensinya lebih tinggi akan menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan Solar panel yang efisiensinya lebih rendah untuk luasan modul yang sama. Efisiensi solar panel antara lain bergantung

⁵ Suhendar, *Dasar - Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, Edisi Pert (Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI), 2022). Hlm 33

pada material sel *photovoltaic* dan proses produksinya. Secara umum, sel *photovoltaic* terbuat dari material jenis *polycrystalline* dan *monocrystalline*.

Jenis – Jenis Solar panel terbagi menjadi sebagai berikut :

a. *Monocrystalline silicon*

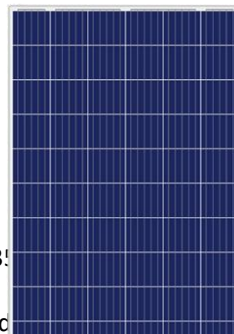
Merupakan sel surya yang memiliki susunan kristal teratur. Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. 24%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari nya kurang. Efisiensinya akan turun drastic dalam cuaca berawan atau mendung⁵



Gambar 2.9 *Monocrystalline silicon*¹²

b. *Polycrystalline Silicon*

Merupakan solar panel yang memiliki susunan kristal acak. Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan dilakukan secara perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal (sekitar 18 %), sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah ⁵



¹² <https://solarpowersystem.xyz/product/31> (diakses 8 Agustus 2023)

¹³ <https://lowenergysupermarket.com/product/solar-panel-kit-24v-with-mppt-controller/> (diakses 8 Agustus 2023)

⁵ *ibid* hlm 34

[solar-panel-36v/](#) (diakses 8 Agustus 2023)

[panel-kit-24v-with-mppt-controller/](#) (diakses 8 Agustus 2023)

Gambar 2.10 Polycrystalline Silicon ¹³

c. *Thin Film Cells*

Merupakan solar panel dua lapisan dengan struktur lapisan tipis mikrokristalsilicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polikristal ⁵



Gambar 2.11 Thin Films cells ¹⁴

2.7.3 *Solar Charge Controller (SCC)*

Solar Charge Controller adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). *Solar charge controller* mempunyai Fungsi dan fitur *Solar Charge Controller* adalah sebagai berikut :

- a. Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah pengisian yang berlebihan. Dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersuplai dari Solar panel akan langsung terdistribusi ke beban / peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.

⁵ ibid hlm 34

¹⁴ https://www.researchgate.net/figure/Thin-film-photovoltaic-cells-are-made-from-materials-that-absorb-sunlight-very-strongly_fig3_296633810 (diakses 8 Agustus 2023)

- b. Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai) , maka pemutusan arus beban dilakukan oleh controller. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel – sel baterai. Pada kebanyakan model *controller*, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses pengisian. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh controller, maka peralatan listrik / beban tidak dapat beroperasi. Pada *controller* tipe – tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem pembangkit listrik tenaga surya tersebut

Jenis – Jenis *Solar Charge Controller* adalah sebagai berikut :

- a. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

SCC MPPT adalah alat yang berfungsi menelusuri kekuatan maksimum yang dapat dihasilkan Solar panel dan mengontrol pengisian baterai. MPPT adalah singkatan dari *Maximum Power Point Tracking* yang merupakan sistem elektronik yang bekerja untuk melacak keberadaan titik daya maksimum yang diproduksi Solar panel.



Gambar 2.12 SCC Tipe MPPT¹⁴

b. Pulse Width Modulation (PWM)

SCC adalah alat yang berfungsi mengendalikan pengisian baterai. PWM merupakan singkatan dari Pulse Width Modulation. Saat baterai akan penuh SCC PWM akan perlahan menurunkan jumlah daya yang di kirim ke batrai agar baterai tidak cepat rusak.⁵



Gambar 2.13 SCC Tipe PWM¹⁵

2.7.4 Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (*direct current*) dari solar panel atau baterai menjadi arus listrik bolak – balik (*alternating current*) dengan frekuensi 50Hz. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu, tergantung pada kebutuhan beban dan juga tergantung pada apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem yang terhubung ke jaringan listrik atau sistem yang berdiri sendiri.

inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu adalah sebagai berikut :

a. *Square Wave*

Inverter ini adalah yang paling sederhana. Walaupun inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220V AC, 50 Hz namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja. Hal ini

¹⁴ <https://energi.terbarukan/makeskyblue/real-mppt-60a-makeskyblue-scc-solar-charge-controller-original> (diakses 8 agustus 2023)Rachmawan Budiarto, *Energi Surya Untuk Komunitas* (Jakarta - Yogyakarta: LAKPESDAM-PBNU, 2017).

⁵ ibid hlm 43

¹⁵ <https://erc.ua/ware/287042-fsp-scc-pwm-24v-50a-1-2kw/> (diakses 8 Agustus 2023)

disebabkan karena karakteristik output inverter ini adalah memiliki level total *harmonic distortion* yang tinggi.

b. *Modified Sine Wave*

Modified Sine Wave disebut juga *Modified Square Wave* atau *Quasy Sine Wave* karena gelombang *modified sine wave* hampir sama dengan *square wave*, namun pada *modified sine wave* outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena *modified sine wave* mempunyai *harmonic distortion* yang lebih sedikit dibanding *square wave* maka dapat dipakai untuk beberapa alat listrik seperti komputer, tv dan lampu. Namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitif.

c. *Pure Sine Wave*

Pure Sine Wave atau *true sine wave* merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai gelombang sinusoida sempurna, Dengan total *harmonic distortion* (THD) < 3%. Sehingga cocok untuk semua alat elektronika. Oleh sebab itu inverter ini juga disebut *clean power supply*. Teknologi yang digunakan inverter jenis ini umumnya disebut *pulse width modulation* (PWM) ⁷



Gambar 2.14 Inverter ⁷

2.7.5 Kabel

Kabel berfungsi untuk menghubungkan antara Solar panel dengan alat alat lainnya. Untuk kabel yang digunakan harus sesuai dengan standar yang telah

⁷ Hari Purwoto Bambang and others
ENERGI ALTERNATIF.



ditetapkan, standar kabel juga tersedia didalam Pedoman Umum Instalasi Listrik (PUIL). Kabel yang digunakan juga harus tahan cuaca dan tahan sinar ultraviolet¹⁰

Gambar 2.15 Kabel ¹⁰

2.7.6 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.⁸



Gambar 2.16 MCB ⁸

2.7.7 Baterai Litihium Ion (Li – On)

Baterai yang digunakan untuk menyimpan energi listrik pada instalasi PLTS harus merupakan baterai yang mampu diisi ulang. Diantara berbagai baterai isi ulang yang ada, baterai li-on merupakan baterai yang paling potensial digunakan

¹⁰ Pratiwi, Febriana Pratiwi, Apip Pudin, and Wahyu Budi Mursanto, 'Perancangan PLTS Atap On Grid Kapasitas 163 , 8 KWp Untuk Suplai Daya Industri Tekstil', 2022, 13–14.

⁸ Karim, Indra Wahyudin A and others, 'Perencanaan Daya Cadang Menggunakan Panel Surya Di Perumahan Bukit Ranomuut Indah'.

mengingat kapasitas penyimpanannya yang besar (kepadatan energi listriknya tinggi), mampu diisi ulang berulang kali dan umur baterai relatif lebih panjang¹.



Gambar 2.17 Baterai Lithium Lion ¹

2.7.8 Reflektor

Solar panel bisa ditingkatkan efisiensinya dengan cara menambahkan reflektor atau konsentrator. Reflektor atau konsentrator pada panel sel surya berbentuk seperti cermin yang difungsikan sebagai pemantul dan pemfokus cahaya matahari ke panel sel surya. Pemantulan Cahaya matahari ini akan membuat intensitas cahaya matahari lebih terkonsentrasi pada panel sel surya sehingga energi listrik yang di keluarkan panel sel surya menjadi semakin besar. Peningkatan daya keluaran pada panel sel surya ini akan meningkat menjadi sekitar 46%.¹¹



Gambar 2.18 Reflektor.¹⁵

2.8 Karakteristik Sel Surya

¹ Budiarto Rachmawan, *Energi Surya Untuk Komunitas* (Jakarta - Yogyakarta: LAKPESDAM-PBNU, 2017). hlm 157

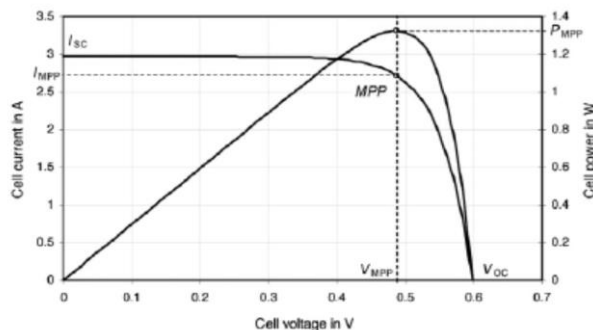
¹¹ Warsito Adhi and others, 'Dipo Pv Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan Pada Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peningkat Kerja Eergi Listrik Baru Terbarukan Metode.', *Teknik Elektro*, 2013.

¹⁵ <https://www.cekrisna.com/2016/03/pengertian-cermin-dan-jenis-cermin.html> (diakses tgl 8 agustus 2023)

Total pengeluaran listrik (Watt) dari solar panel adalah sama dengan tegangan (V) operasi dikalikan dengan arus (I) operasi. Tegangan serta arus keluaran yang dihasilkan ketika solar panel memperoleh penyinaran merupakan karakteristik yang disajikan dalam bentuk kurva I-V pada Gambar 2.19. kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (PMPP). Tegangan di *Maximum Power Point* (MPP) V_{MPP} , lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan arus saat MPP I_{MPP} , adalah lebih rendah dari arus *short circuit* (I_{sc})

Berikut ini adalah karekteristik dari solar panel :

- Short Circuit Current* (I_{sc}) : terjadi pada suatu titik dimana tegangannya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluaran adalah nol
- Open Circuit Voltage* (V_{oc}) : terjadi pada suatu titik dimana arusnya adalah nol, sehingga pada saat ini pun daya keluarannya adalah nol
- Maximum Power Point* (MPP) : adalah titik daya *output* maksimum, yang sering dinyatakan sebagai dari kurva I-V



Gambar 2.19 Kurva I-V ⁵

Berdasarkan ketiga parameter tersebut, maka daya keluaran dari sel surya dapat diperoleh dengan persamaan :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- P_{out} = daya keluaran sel surya (W)
- V_{oc} = Tegangan *open circuit* (V)
- I_{sc} = Arus *Short Circuit* (A)

FF = *Fil Factor*

FF (*Fil Factor*) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel surya. Besarnya FF dapat dihitung dengan persamaan :

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \text{ atau } \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Efisiensi konversi energi cahaya menjadi energi listrik diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan sel surya secara matematis dapat ditulis dengan persamaan :

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga besarnya nilai efisiensi diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

V_{mp} = Tegangan maksimum (V)

I_{mp} = Arus maksimum (A)

P_{mp} = Daya maksimum (W)

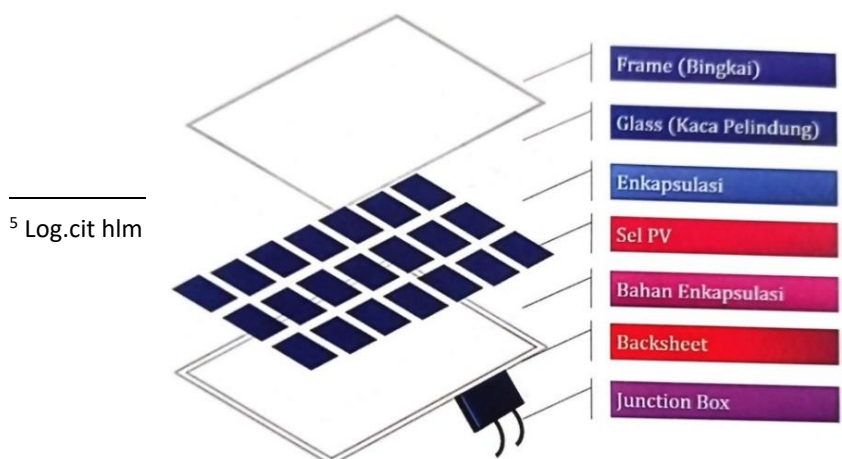
η = efisinesi %

P_{in} = daya masukan sel surya (W)

G = Intensitas cahaya (W/m^2)

A = Luas pamel surya (m^2)⁵

2.8 Struktur Solar Panel



Gambar 2.18 Struktur Solar Panel ²

Tabel 2.1 Spesifikasi Dimensi lainnya Untuk Solar Panel.

No.	Struktur Solar Panel	Fungsi
1.	<i>Frame</i> (Bingkai)	<ul style="list-style-type: none"> • Dibuat dari alumunium <i>anodized</i> untuk menghindari korosi • Pemasangan bingkai dilakukan di akhir proses pembuatan. • Bingkai memiliki fungsi untuk memastikan kekukuhan panel,
2.	<i>Glass</i> (Kaca Pelindung)	<ul style="list-style-type: none"> • Berfungsi untuk melindungi sel <i>Photovoltaic</i> (PV) dari lingkungan dan memastikan kekukuhan panel. • Kaca pelindung mengambil proporsi tertinggi dari gogal berat Modul <i>Photovoltaic</i>.
3.	Ekapsulasi (Laminasi)	<ul style="list-style-type: none"> • Lapisan antara sel PV dan kaca pelindung. • Laminasi digunakan untuk mencegah kerusakan mekanis pada sel PV dengan bagian modul lainnya. • Lembaran laminasi menggunakan bahan <i>Ethylene – Vinyl Acetate</i> (EVA)
4.	Sel <i>Photovoltaic</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Komponen utama dari solar panel. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik

		<ul style="list-style-type: none"> Sel – sel saling terhubung secara seri untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi melalui kawat busbar. Bahan yang digunakan untuk sel PV umumnya adalah silikon, seperti si-poly dan si – mono.
5.	Lembar Insulasi (<i>Basheet</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Bahan plastic untuk melindungi dan secara elektrik mengisolasi sel – sel dari kelembaban dan cuaca
6.	<i>Junction Box</i> (kotak Penghubung)	<ul style="list-style-type: none"> Terminal penghubung antara serangkaian sel PV. Perangkat ini berisi kawat busbar dari rangkaian sel PV, kabel dan <i>bypass diode</i>².

2.9 Faktor Pengaruh Daya Output Solar Panel

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

a. Kenaikan Suhu (*Temperature*)

Kenaikan suhu (*temperature*) pada solar panel yang dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi solar panel dengan koefisien temperatur dari solar panel (% / derajat celcius)

b. Radiasi Matahari

Intensitas radiasi elektromagnetik sinar matahari yang jatuh di permukaan. Radiasi diukur dalam satuan W / m^2 dan nilainya bervariasi ditempat yang berbeda. Oleh karena itu, pengukuran langsung radiasi atau pengolahan data sekunder penting dilakukan sebelum merancang sebuah sistem PLTS. Daya keluaran dari solar panel berbanding lurus secara proposional dengan radiasi matahari.

c. Kecepatan Angin

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

d. Faktor bayangan (*Shading*)

Shading merupakan bayangan yang menghalangi sinar matahari dan penumpukan debu yang dapat menghalangi transmisi matahari.

- e. Sudut Orientasi Matahari (*Tilt Angle*) dan peletakan Solar panel Agar energi tetap berada pada nilai yang optimal. ²

2.10 Daya Output

Sistem dasar beda potensial adalah volt (v), karena satuan inilah beda potensial V sering disebut sebagai voltage atau tegangan. Daya listrik yang dihasilkan oleh solar panel merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.5, sedangkan nilai rata – rata yang di hasilkan selama titik pengujian ditunjukkan pada persamaan 2.6.

$$P = V.I \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

P = Daya Keluaran (Watt)

V = Tegangan Keluaran

I = Arus (Ampere)

$$P_{rata-rata} = \frac{p_1+p_2+p_3+p_4}{n} \dots\dots\dots(2.6)^9$$

Dimana :

$P_{rata-rata}$ = Daya rata-rata (Watt)

² Log.cit hlm 61-62, 49

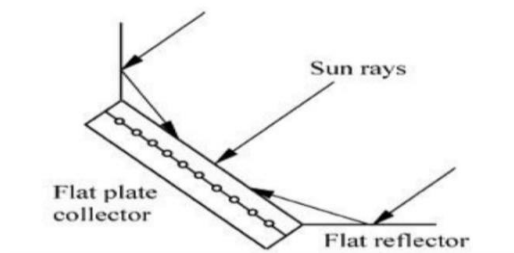
⁹ Marniati Yessi and others, ‘The Effectiveness of Solar Panels from the Installation Location’, 9 (2022), 206–11.

P1	= Daya pada titik pengujian ke satu
P2	= Daya pada titik pengujian ke dua
Pn	= Daya pada titik pengujian ke n
N	= Jumlah P1 s/d Pn.

2.11 Penambahan Reflektor Dalam Solar Panel

Efisiensi yang dihasilkan dari sel surya sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu radiasi matahari yang mengenai sel surya, efektivitas sel untuk mengkonversikan cahaya ke energi listrik, dan peralatan elektronika daya pada sel. Salah satu cara peningkatan daya adalah mengoptimalkan radiasi matahari yang mengenai sel surya menggunakan reflektor.

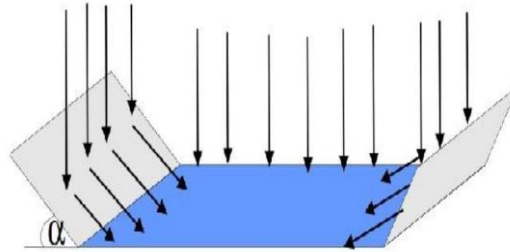
Reflektor yang digunakan adalah cermin datar, alat optik tersebut berfungsi untuk memantulkan cahaya pada suatu objek dengan mengatur posisi sudutnya terhadap arah sinar datang matahari. Pengoptimalan energi menggunakan reflektor dengan cara pemantulan dan pembiasan cahaya akan mengoptimalkan cahaya pada suatu objek. Cahaya yang terkonsentrasi pada titik fokus menghasilkan fluks energi yang lebih besar.



Gambar 2.19 Cahaya Menggunakan Cermin Datar ⁶.

Reflektor dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan cahaya solar panel sehingga meningkatkan radiasi matahari pada solar panel, Kondisi ini diharapkan unruk

menghasilkan energi keluaran yang lebih besar dari solar panel tanpa menggunakan reflektor.⁶



Gambar 2.20 Pemasangan Reflektor Pada Solar Panel

⁶ Alim Asimul, Hamid Abdillah, and Sulaeman Deni Ramdani, 'Vocational Education National Seminar (VENS) Analisis Perbandingan Daya Keluaran Modul Solar Cell 50 WP Terhadap Penambahan Reflector Cermin Datar', 2022, 110–15.