

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Energi baru dan yang 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 solar panel (sel photovoltaic) 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 solar panel sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima oleh sistem.



Gambar 2.1 Intensitas Radiasi Matahari di Indonesia⁹

Dalam merencanakan pembangunan PLTS terlebih dahulu diperhitungkan beban dari PLTS sehingga kita dapat menghitung kapasitas listrik tenaga surya yang akan dibangun. Berikut contoh perhitungan sederhana kebutuhan daya yang digunakan, kapasitas panel dan banyaknya panel yang digunakan dan kebutuhan baterai dengan daya menyimpannya.³

⁹ <https://www.bmkg.go.id/iklim/prakiraan-musim.bmkg>

³ Safitry, Nelly, dkk. 2019. *Teknologi Photovoltaic*. hal 3

2.2 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%.⁴

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,

⁴ Suhendar.2022. Dasar-Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Hal 24

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 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 dikenal 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 = negatif), sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan *hole* sehingga kelebihan muatan positif (p = 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 spektrumnya, oleh karena itu maka *absorber* diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari yang berasal dari cahaya matahari.⁴



Gambar 2.2 Solar panel¹⁰

⁴ Ibid. hal 28-29

¹⁰ <https://www.sanspower.com/panel-surya-prinsip-kerja-dan-kegunaan-yang-bisa-didapatkan.html>

2.2.1 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 senama *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 (AC), di mana elektron bergerak maju mundur, arah bolak-balik 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.⁵

Tingkat efisiensi tegangan dan arus yang dihasilkan oleh solar panel sangat bergantung pada suhu dan intensitas cahaya di lingkungan sekitar. Energi yang menerpa solar panel adalah energi yang berasal dari foton sinar matahari. Energi foton diubah menjadi tegangan listrik DC yang bervariasi sesuai intensitas matahari yang dirasakan. Energi foton dari matahari diubah menjadi energi listrik DC oleh bahan semikonduktor berbahan silikon amorphous, tegangan keluar dari solar panel

⁵ Wibowo, Agus. 2022. Instalasi Panel Listrik Surya. Hal 1

dihubungkan ke charger controller yang berfungsi mengatur tegangan yang bervariasi untuk dialirkan ke baterai yang range tegangannya 12V, DC

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

1. Sumber energi yang mudah didapatkan
2. Ramah lingkungan
3. Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis
4. Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah
5. 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 :

1. Jumlah daya yang akan dibutuhkan dalam pemakaian sehari hari (watt/hour)
2. Jumlah panel yang harus dipasang
3. 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.

2.2.2 Faktor Pengoperasian Solar Panel

Pengoperasian maksimum Solar Panel sangat tergantung pada faktor – faktor sebagai berikut : ⁴

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 menghitung besarnya daya yang berkurang pada saat temperature mengalami kenaikan dari temperatur standarnya.

2. Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari akan berpengaruh pada daya keluaran 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 atmosfer bumi seperti berawan, mendung, partikel debu udara, asap uap 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 op.cit. Hal 37-38

2.2.3 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 matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.3 Solar Panel *Monokristal*¹¹

b) Polikristal (*Poly-Crystalline*)

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



Gambar 2.4 Solar Panel *Polikristal*¹²

¹¹ <https://outbax.com.au/voltx-12v-160w-solar-panel-kit-mono-fixed-rv-camping-portable-battery-charger>

¹² <https://unboundsolar.com/shop/solar-panels/poly>

c) *Thin Film Photovoltaic*

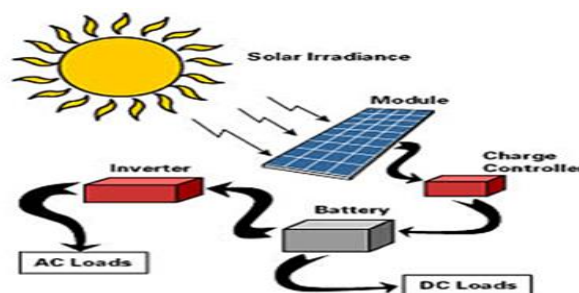
Merupakan Solar panel (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis *mikrokristalsilicon* dan amorphous dengan efisiensi solar panel hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari pada monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru adalah *Thin Film 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 ditera setara.



Gambar 2.5 *Thin Film Photovoltaic*¹³

2.3 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Prinsip kerja PLTS dan konfigurasi seluruh komponen pada umumnya memanfaatkan solar panel untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik, perbedaannya terletak pada sistem yang dipilih untuk mengkonfigurasi komponen PLTS. Adapun jenis jenis dari konfigurasi sistem pembangkit listrik tenaga surya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.6 Sistem Kerja PLTS¹⁴

¹³ <http://www.alat2listrik.com/information/170>

¹⁴ <https://tenagamatahari.wordpress.com/beranda/konsep-kerja-sistem-plts/>

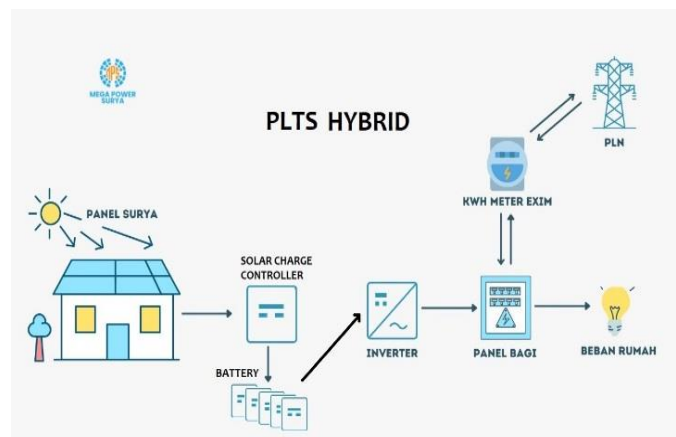
2.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid

PLTS *hybrid* adalah pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi gabungan antara tenaga surya dan sumber energi lainnya, seperti dari PLN dengan PLTD, PLTB, PLTA, dan lain sebagainya. Sistem ini juga dapat dimaknai sebagai sistem yang menggabungkan keunggulan on-grid dan *off-grid* secara bersamaan.

Sistem ini mengadopsi keunggulan dari sistem PLTS *on-grid* dan *off-grid*. PLTS *on-grid* yang bisa terhubung dengan jaringan PLN, sedangkan *off-grid* bisa terhubung dengan baterai sebagai tempat penyimpanan energi berlebih yang dihasilkan solar panel. Sistem *hybrid* bisa memakai tiga sumber energi: solar panel, baterai, dan listrik PLN. Adanya ketiga sumber ini menjadikan sistem PLTS *hybrid* lebih unggul dibandingkan dua sistem lainnya.

Pemilik PLTS pun jadi lebih rileks dan tidak khawatir kehabisan sumber daya. Karena ketiganya bisa saling melengkapi dan bergantian memenuhi kebutuhan listrik di rumah.

Bahkan ada pula yang menyebut bahwa sistem *hybrid* punya empat sumber energi selain yang disebutkan di atas, yaitu energi yang berasal dari genset. Genset digunakan sebagai cadangan kalau skenario terburuk terjadi misalnya malam hari ketika baterai habis dan listrik PLN padam.

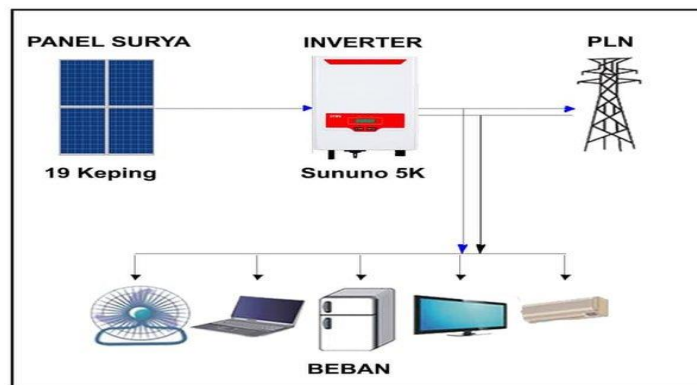


Gambar 2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid¹⁵

¹⁵ <https://www.megapowersurya.com/pemasangan-plts-hybrid/>

2.3.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On – Grid

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On Grid*) atau yang disebut dengan *Grid Connected PV* Sistem 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 surya atau *photovoltaic* solar panel yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin.

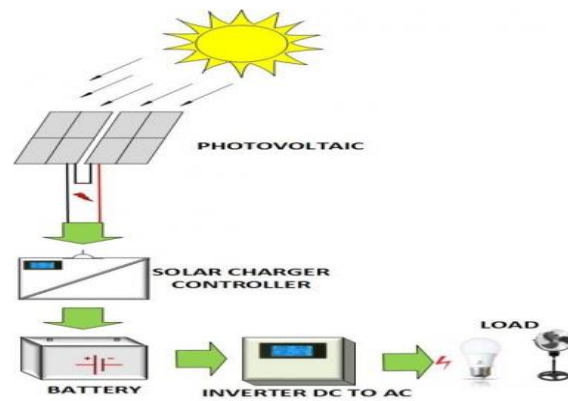


Gambar 2.8 PLTS On-Grid¹⁶

2.3.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off - Grid

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan sistem 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*, atau bisa disebut juga suatu PLTS *off-grid* yang dikelola secara komunal atau yang sering disebut sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Sistem PLTS *off-grid* ini hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic solar panele* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Sistem ini membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari.

¹⁶ <https://id.quora.com/Apa-perbedaan-sistem-off-grid-dan-on-grid-pada-sistem-solar-Mana-yang-lebih-menguntungkan>



Gambar 2.9 PLTS *Off-Grid*¹⁷

2.4 Komponen – Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Komponen solar panel terdiri dari solar panel, inverter, *solar charger controller*, baterai dan lain-lainnya. Berbagai komponen tersebut dirangkai dan dihubungkan sehingga dapat bekerja untuk mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik.

2.4.1 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller adalah salah satu komponen di dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, berfungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari Solar Panel maupun arus beban keluar / digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. *Solar Charge Controller* mengatur tegangan dan arus dari Solar Panel ke baterai. Sebagian besar Solar Panel 12 Volt menghasilkan tegangan keluaran sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada pengaturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Pada umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt (tergantung tipe baterai) untuk dapat terisi penuh. Fungsi dan fitur *Solar Charge Controller* adalah sebagai berikut :

1. 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

¹⁷ https://www.kompasiana.com/kilengser/6204899dbb448626fa675ca2/panel-surya-seribu-jalan-menuju-pembaharuan-energi-indonesia?page=all&page_images=2

Solar Panel akan langsung terdistribusi ke beban / peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.

2. 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

Adapun berikut ini adalah merupakan Jenis – Jenis dari Solar *Charge Controller* :

1. 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 2.10 SCC Tipe MPPT¹⁸

¹⁸ <https://www.sanspower.com/solar-charge-control-untuk-panel-surya-ramah-lingkungan.html>

2. SCC PWM

SCC PWM adalah alat yang berfungsi mengendalikan keberlangsungan pengisian baterai. PWM merupakan singkatan dari Pulse Width Modulation. Saat baterai akan penuh SCC PWM akan perlahan menurunkan jumlah daya yang dikirim ke baterai agar baterai tidak mengalami kejenuhan.



Gambar 2.11 SCC¹⁹

2.4.2 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 (*Amphere 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

¹⁹ <https://www.sanspower.com/solar-charge-control-untuk-panel-surya-ramah-lingkungan.html>

contoh, sebuah baterai dengan tegangan 12 V dan kapasitas 100 Ah dapat menyimpan energi listrik sebesar $12\text{ V} \times 100\text{ Ah} = 1200\text{ Wh}$. Jika *DoD*-nya adalah 75%, maka energi yang dapat dimanfaatkan adalah 900 Wh, dengan kapasitas yang tersisa sebesar $300\text{ Wh}/12\text{ V} = 25\text{ Ah}$. Jika sebuah alat membutuhkan energi 300 Wh, maka baterai tersebut dapat memasok listrik selama tiga jam terus-menerus.¹



Gambar 2.12 Baterai

Ada 2 jenis baterai isi ulang yang bisa digunakan dalam sistem PLTS yaitu baterai asam timbal (*lead acid*) dan baterai *nickel-cadmium*. Baterai jenis *nickel-cadmium* ini lebih sedikit digunakan dalam sistem PLTS karena baterai jenis ini memiliki efisiensi yang rendah dan biaya yang lebih tinggi. Sedangkan untuk baterai jenis asam timbal lebih banyak digunakan dalam sistem PLTS karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan biayanya yang lebih murah. Umumnya kapasitas baterai itu dinyatakan dalam *Ampere-hour* (Ah). Nilai Ah pada baterai menunjukkan arus yang dapat dilepaskan dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan arus tersebut.

2.4.3 Inverter

Umumnya peralatan rumah tangga membutuhkan listrik AC sehingga listrik yang dihasilkan panel surya (listrik DC) harus dikonversi terlebih dahulu agar bisa dimanfaatkan. *Inverter* berfungsi untuk mengubah listrik DC dengan tegangan rendah (12, 24, 32, 48, 96, 120 volt) menjadi listrik AC dengan tegangan lebih tinggi (110 atau 220 volt). Terdapat pro kontra terhadap pemakaian listrik AC pada pemakaian PLTS dengan konfigurasi SHS. Dimana pihak pro menganggap bahwa listrik AC akan memungkinkan pengguna memanfaatkan SHS untuk keperluan

¹ Budiarto, Rachmawan, dkk. 2017. Energi Surya Untuk Komunitas Meningkatkan Produktivitas Masyarakat Pedesaan Melalui Energi Terbarukan. Hal 35-36

lebih luas. Namun, pendapat kontra meyakini bahwa listrik AC akan mendorong pengguna untuk menyambungkan terlalu banyak jenis pemakaian ke inverter sehingga dapat mengakibatkan kelebihan beban (*overload*) pada SHS. Kelebihan beban ini kemudian bisa mengakibatkan matinya SHS. Tentu saja pada berbagai kondisi tertentu, misalnya 37 dimana tidak tersedia berbagai peralatan DC yang pas, maka *inverter* merupakan keharusan.⁴ *ibid* hal 36-37



Gambar 2.13 *Inverter*²⁰

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 selain lampu.

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.

²⁰ <https://cintamobil.com/pengemudian/kenali-manfaat-power-inverter-dalam-mobil-aid16494>

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.

2.4.4 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 2.14 Kabel²¹

2.4.5 *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 2.15 MCB²²

²¹ <https://shopee.co.id/Kabel-Solar-Panel-Panel-Surya-Twin-Solar-Panel-Akiku-Visero-2x2-5mm-per-MTR-i.193096685.3205998436>

²² <https://m.indotrading.com/kikayuglobalsentosa1/mcb-miniature-circuit-breaker-schneider-1p-6a-p1068877.aspx>

2.5 Komponen – Komponen Pendukung Rangkaian PLTS

2.5.1 Reflektor / Cermin Datar



Gambar 2.16 Reflektor / Cermin Datar

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.

Solar Panel bisa ditingkatkan efesiansinya dengan cara menambahkan reflektor atau konsentrator. Reflektor atau konsentrator pada panel solar panel berbentuk seperti cermin yang difungsikan sebagai pemantul dan pemfokus cahaya matahari ke panel solar panel. Pemantulan Cahaya matahari ini akan membuat intensitas cahaya matahari lebih terkonsentrasi pada panel solar panel sehingga energi listrik yang di keluarkan panel solar panel menjadi semakin besar. Peningkatan daya keluaran pada panel solar panel ini akan meningkat menjadi sekitar 46%⁸

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 :

⁸ Warsito , A., Adriono, A., Nugroho , M. Y., Oding, & Winardi, B. (2018 , September). DIPO PV COOLER, PENGGUNAAN SISTEM PENDINGIN TEMPERATUR HEATSINK FAN PADA PANEL SEL SURYA (PHOTOVOLTAIC) SEBAGAI PENINGKATAN KERJA ENERGI LISTRIK TERBARUKAN. 02 (03).

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

2.5.2 Software MATLAB

MATLAB adalah kepanjangan dari *MATrix LABoratory*, merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc.* yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain seperti *Delphi*, *Basic* maupun *Ct+*. MATLAB merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman, komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan dan grafik-grafik perhitungan. Saat ini MATLAB memiliki ratusan fungsi yang dapat digunakan sebagai alat untuk menyelesaikan persamaan di bidang teknik mulai dari masalah yang sederhana sampai masalah-masalah yang kompleks dari berbagai disiplin ilmu. Dalam lingkungan perguruan tinggi khusus pada bidang sains dan teknik, MATLAB merupakan perangkat standar yang memperkenalkan untuk mengembangkan penyajian materi matematika, rekayasa dan keilmuan. Di industri, MATLAB merupakan perangkat pilihan untuk penelitian dengan produktivitas yang tinggi, pengembangan dan analisisnya¹

Kegunaan MATLAB Secara umum adalah sebagai berikut.

1. Matematika dan komputasi,
2. Perkembangan algoritma,
3. Pemodelan, simulasi, dan pembuatan *prototype*

¹ Wirjayati, I Ketut.2022.Teori dan Teknik Penyeleaian Kasus Rangkaian Listrik Dengan Matlab.hal 1

4. Analisis data, *eksplorasi* dan *visualisasi*
5. Pembuatan aplikasi, termasuk pembuatan antara muka secara grafis

2.5.2.1 Karakteristik MATLAB

Bahasa pemrogramannya didasarkan pada matriks (baris dan kolom).

1. Lambat (dibandingkan dengan *Fortran* atau *C*) karena bahasanya langsung eksekusi tanpa melalui proses kompilasi.
2. *Automatic memory management*, artinya kita tidak harus mendeklarasikan *arrays* terlebih dahulu.
3. Pemrogramannya tersusun secara sistematis.
4. Waktu pengembangannya lebih cepat dibandingkan dengan *Fortran* atau *C*.
5. Dapat diubah ke bahasa *C* lewat *MATLAB Compiler*.
6. Tersedia banyak *toolboX* untuk aplikasi-aplikasi khusus

Beberapa kelebihan MATLAB jika dibandingkan program lain adalah

1. Mudah dalam memanipulasi struktur matriks dan perhitungan berbagai operasimatriks yang meliputi penjumlahan, pengurangan, perkalian, invers dan fungsi matriks lainnya.
2. Menyediakan fasilitas untuk memplot struktur gambar (kekuatan fasilitas grafik tiga dimensi yang sangat memadai).
3. *Script* program yang dapat diubah sesuai dengan keinginan *user*
4. Jumlah *routine-routine powerful* yang berlimpah yang terus berkembang
5. Kemampuan *interface* (misal dengan bahasa *C*, word dan matematika)
6. Dilengkapi dengan *toolbox*, *Simulink*, *stateflow* dan sebagainya, serta mulai melimpahnya *source code* di internet yang dibuat dalam MATLAB (Contoh *toolbox* misalnya: *signal processing*, *control system*, *neural networks* dan sebagainya)⁵

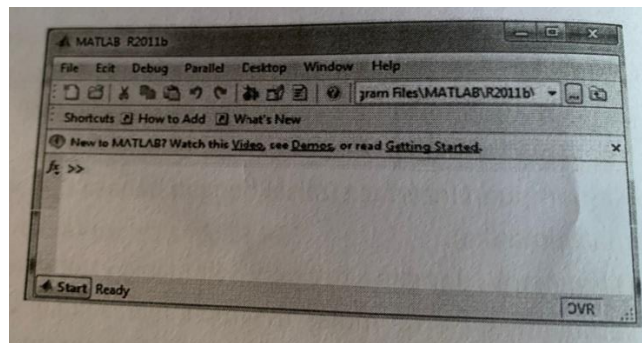
2.5.2.2 Lingkungan Kerja MATLAB

Secara umum lingkungan kerja MATLAB terdiri dari tiga bagian yang penting yaitu :

⁵ ibid hal 2-3

1. *Command Windows*

Windows ini muncul pertama kali ketika kita menjalankan program MATLAB. *Command windows* digunakan untuk menjalankan perintah-perintah MATLAB, memanggil *tool* MATLAB seperti editor, *fasilitas help*, model *Simulink*, dan lain- lain. Ciri dari *windows* ini adalah adanya *prompt* (tanda lebih besar) yang menyatakan MATLAB siap menerima perintah. Perintah tersebut dapat berupa fungsi-fungsi bawaan (*toolbox*) dari MATLAB itu sendiri.



Gambar 2.17 Tampilan *Windows* dari MATLAB

2. *Editor Windows*⁵

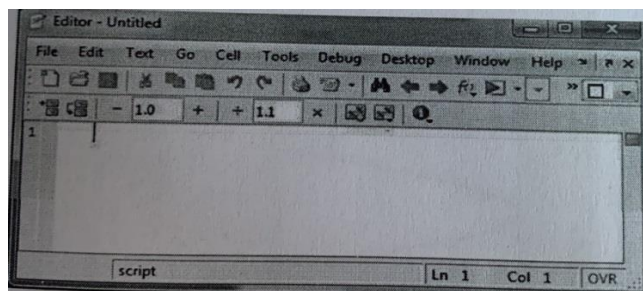
Untuk memulal sebuah perintah dari MATLAB anda harus masuk dalam menu seperti pada gambar di bawah ini dengan cara memilih *File* pilih dan pilih *Edit* pilih *Script* dan klik kiri selanjutnya tampil seperti pada gambar di bawah dan siap untuk menuliskan *script-script* yang diinginkan. *Windows* ini merupakan tool yang disediakan oleh MATLAB yang berfungsi sebagai *editor script* MATLAB (listing perintah-perintah yang harus dilakukan oleh MATLAB). Ada dua cara untuk membuka *editor* ini, yaitu:

1. Klik : *file*, lalu *new* dan kemudian *M-file*
2. Ketik pada *command windows*; "edit" atau *Ctrl N*

Secara formal suatu *script* merupakan suatu *file eksternal* yang berisi ulisan perintah MATLAB. Tetapi *script* tersebut bukan merupakan suatu fungsi. Ketika anda menjalankan suatu *script*, perintah di dalamnya dieksekusi seperti ketika dimasukkan langsung pada MATLAB melalui *keyboard*. *M-file* selain dipakai

⁵ ibid hal 4

sebagai penamaan *file* juga bisa dipakai untuk menamakan fungsi, sehingga fungsi fungsi yang kita buat di jendela *editor* bisa disimpan dengan *ekstensi.m* sama dengan file yang kita panggil di jendela *editor*. Saat kita menggunakan fungsi MATLAB seperti *inv*, *abs*, *cos*, *sin* dan *sqrt*, MATLAB menerima variabel berdasarkan variabel yang kita berikan.



Gambar 2.18 Tampilan *editor* dari *windows* dari MATLAB

Saat kita menggunakan fungsi MATLAB Seperti *inv*, *abs*, *cos*, *sin* dan *sqrt*, MATLAB menerima variabel berdasarkan variabel yang kita berikan. Fungsi *M-file* mirip dengan *script file* di mana keduanya merupakan *file* teks dengan *ekstensi.m*. Sebagaimana *script M-file*, fungsi *m-file* tidak dimasukkan dalam jendela *command window* tetapi *file* tersendiri yang dibuat dengan *window editor* teks.

3. *Figure Windows*⁵

Windows ini merupakan hasil visualisasi dari *script* MATLAB. MATLAB memberikan kemudahan bagi *programmer* untuk mengedit *windows* ini sekaligus memberikan program khusus untuk itu, sehingga selain berfungsi sebagai *visualisasi output* yang berupa grafik juga sekaligus menjadi media *input* yang interaktif.



Gambar 2.19 Tampilan *figures windows* dari MATLAB

⁵ Ibid hal 6

2.6 Persamaan Solar Panel

Daya listrik yang dihasilkan oleh solar panel merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus. Arus Hubung Singkat (I_{sc}) adalah arus maksimum ketika terminal (+) dan (-) panel surya di hubung singkatkan hingga tegangan terus turun menuju nol. Arus ini merupakan titik operasi maksimum pada sistem PV. Nilai arus hubung singkat terdapat dalam setiap *nameplat* pabrik pembuat. Nilai arus hubung singkat akan lebih besar dibandingkan arus maksimum panel surya pada saat beroperasi di bawah kondisi STC.

Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc}) adalah titik dalam rangkaian terbuka. Kondisi ini berarti bahwa sistem PV dalam keadaan *Off*. Tegangan ini akan mencapai nilai tertinggi yang bisa dicapai, tetapi arusnya akan bernilai nol. Karena dalam persamaan pencarian daya tegangan dikalikan dengan arus, maka daya yang dihasilkan akan 0 watt.

Tegangan Daya Maksimum (V_{mp}). Sistem panel surya memiliki tegangan operasi maksimum yang berarti bekerja pada kondisi daya maksimum. Tegangan maksimum ketika beroperasi akan jauh lebih kecil dibandingkan tegangan (V_{oc}). Tegangan maksimum ini hanya bergantung pada tegangan setiap sel dalam panel, sama halnya seperti baterai. Namun di beberapa kasus tegangan operasi maksimum akan meningkat apabila kondisi *irradiance* matahari (W/m^2) dan besar temperatur ($^{\circ}C$) lingkungan dalam kondisi yang tidak terlalu panas juga.

Maksimum Arus Listrik (I_{mp}). I_{mp} merupakan arus daya maksimum di mana kondisi ini merupakan titik yang sama dengan tegangan (V_{mp}). Jika kita mengalikan I_{mp} dengan V_{mp} kita akan mendapatkan daya maksimum pada titik daya maksimum. Arus daya maksimum akan lebih kecil nilainya dibandingkan dengan nilai arus hubung singkat (I_{sc}). Semua parameter ini terdapat dalam *nameplate* panel surya.²

² Iskandar, Handoko Rusiana. 2021. Praktis Belajar Pembangkit Listrik. 85-86

2.6.1 Perhitungan Daya Keluaran Pada Beban

$$P = V.I \dots\dots\dots (2.1)^7$$

Dimana :

P : Daya Keluaran (Watt)

V : Tegangan Keluaran (Volt)

I : Arus Keluaran (Ampere)

2.6.2 Perhitungan Daya Keluaran Rata-Rata Pada Beban

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

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

⁷ Marniati Yessi and others, 'The Effectiveness of Solar Panels from the Installation Location', 9 (2022), 206–11.