



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya (cahaya) menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotolistrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor (panas) seperti mesin stirling atau lainnya.¹



Gambar 2.1 PLTS

Indonesia memiliki karunia sinar matahari yang hampir sepanjang tahun ada karena Indonesia terletak di wilayah katulistiwa. Hampir di setiap pelosok Indonesia, matahari menyinari sepanjang pagi sampai sore. Energi matahari yang dipancarkan dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya / solar cell.

¹ Tri Joko Pranomo, dkk, "Implementasi Logika Fuzzy Untuk Sistem Otomatisasi Pengaturan Pengisian Batere Pembangkit Listrik Tenaga surya", Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol.9 No 2, Juni 2017, hal.113

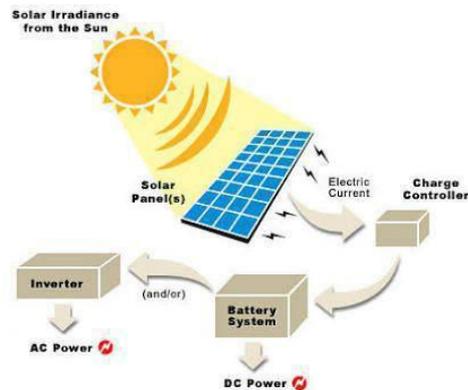


Pembangkit listrik tenaga surya termasuk pembangkit listrik ramah lingkungan, dan sangat menjanjikan. Sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan pembangkit listrik menggunakan uap (dengan minyak dan batubara). Perkembangan teknologi dalam membuat panel surya / solar cell semakin hari semakin lebih baik terutama dalam meningkatkan tingkat efisiensi, pembuatan aki yang tahan lama, pembuatan alat elektronik yang dapat menggunakan Direct Current. Pada saat ini penggunaan tenaga matahari (solar cell) masih mahal karena tidak adanya subsidi dari pemerintah.

2.2 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

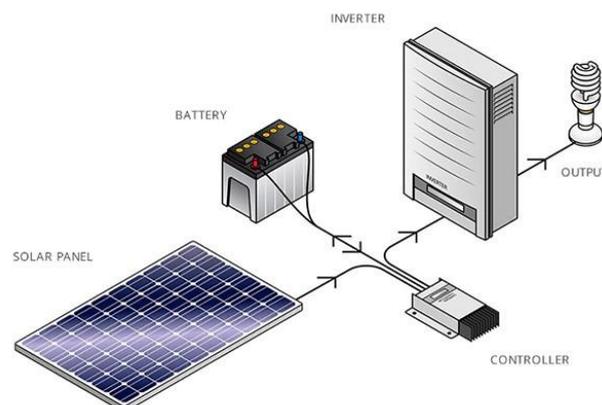
Cara kerja dari pembangkit listrik tenaga surya cukup sederhana. Komponen utama dari sumber energi ini adalah sel fotovoltaik. Sel tersebut memiliki peranan untuk menangkap panas matahari yang kemudian akan diubah menjadi energi listrik. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, jenis pembangkit listrik ini diklaim lebih ramah lingkungan, murah dan hampir tidak memiliki polusi ataupun limbah, hal tersebut merupakan beberapa keuntungan dari pembangkit listrik ini. Setelah panas matahari ditangkap oleh sel fotovoltaik lalu panas tersebut akan digunakan untuk memanaskan cairan yang selanjutnya menjadi uap yang dihasilkan akan dipanaskan oleh sebuah generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya prinsip kerja dari pembangkit listrik jenis ini hampir sama seperti cara kerja pembakaran bahan bakar fosil dalam pengolahannya. Yang membedakan dari pembangkit listrik bahan bakar fosil dan pembangkit listrik tenaga matahari ini adalah uap yang dihasilkan bukan dari pembakaran minyak fosil, akan tetapi dari tenaga surya atau cahaya matahari.²

² Ibid, Hal.113



Gambar 2.2 Proses konversi energi matahari menjadi energi listrik

Panel surya atau solar cell sebagai komponen penting pembangkit listrik tenaga surya, mendapatkan tenaga listrik pada pagi sampai sore hari sepanjang ada sinar matahari. Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 jam. Tenaga listrik pada pagi-sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik dapat digunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari. Karena pembangkit listrik tenaga surya sangat tergantung kepada sinar matahari, maka perencanaan yang baik sangat diperlukan. Berapa besar arus yang dihasilkan panel surya atau solar cell (dalam Ampere hour), dalam hal ini memperhitungkan berapa jumlah panel surya / solar cell yang harus dipasang. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan pertimbangan penggunaan tanpa sinar matahari. (Ampere hour).



Gambar 2.3 Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Surya

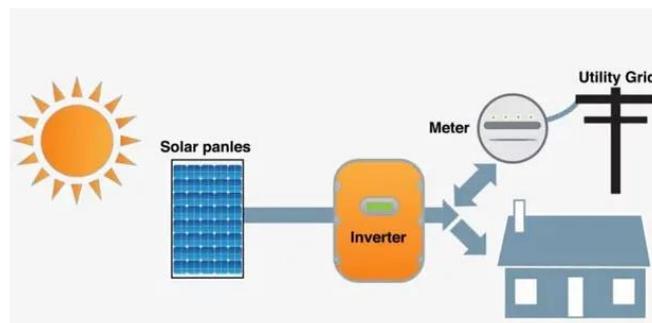


2.3 Konfigurasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pada sistem pembangkit listrik tenaga surya konfigurasi terhadap jaringan yang terhubung dibedakan menjadi tiga, yaitu sistem PLTS yang dihubungkan langsung dengan jaringan PLN atau biasa disebut PLTS On-Grid. Sistem PLTS yang tidak dihubungkan ke jaringan PLN atau yang biasa disebut PLTS Off-Grid/Stand-Alone. Dan PLTS yang sistemnya digabung dengan jenis pembangkit lain atau biasa disebut sistem PLTS Hybrid.³

2.3.1 PLTS 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 modul surya atau photovoltaic modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini juga dianggap ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS terinterkoneksi juga merupakan sebuah solusi green energi bagi masyarakat perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang bertujuan untuk dapat memperkecil tagihan rekening listrik dari PLN dan dapat memberikan nilai tambah kepada pemiliknya.



Gambar 2.4 PLTS On Grid

Secara sederhana sistem kerja PLTS ON Grid Adalah Sebagai berikut:

- Panel Surya Mendapat Pencahayaan Sehingga Menghasilkan Energi Listrik.

³ Aas Wasri Hasanah, dkk, "Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off-Grid di STT-PLN, Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol.10, No.2, September 2018, Hal.94



- Energi Listrik DC Dari panel Surya Diubah menjadi Listrik Gelombang Sinus seperti Listrik PLN Melalui Inverter.
- Hasil Listrik Gelombang Sinus yang di hasilkan Oleh Inverter langsung ikut masuk ke jaringan PLN Sehingga bisa mengurangi tagihan atau bahkan bisa ekspor hasil listrik ke PLN.
- PLN Juga menyediakan KWH Exim Agar kelebihan produksi listrik dari panel Surya bisa di ekspor dan dibeli oleh PLN.
- Jika Listrik PLN Mati maka PLTS juga ikut mati karena tidak menggunakan baterai.

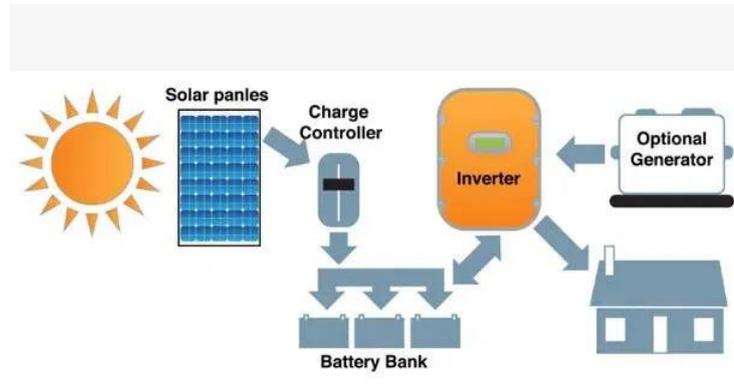
Sistem on-grid ini termasuk sistem PLTS yang sederhana serta merupakan sistem yang efektif dalam segi biaya. Komponen utama dalam PLTS on-grid adalah panel surya serta inverter. Sistem on-grid dapat secara langsung mengimbangi tagihan listrik. Namun sistem ini memiliki kekurangan yakni jika terdapat mati listrik dari PLN maka hunian juga akan mengalami mati listrik, mengingat dalam pembangkitannya PLTS on-grid bergantung dari listrik PLN untuk dapat menggenerasi listrik.⁴

2.3.2 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 panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS OffGrid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan.⁵

⁴ <https://www.builder.id/perbedaan-plts-on-grid-dan-off-grid-serta-hybrid-system/>

⁵ Aas Wasri Hasanah, dkk, "Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off-Grid di STT-PLN, Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol.10, No.2, September 2018, Hal.95



Gambar 2.5 PLTS Off Grid

Secara Sederhana Alur Kerja PLTS Off Grid Adalah sebagai berikut:

- Panel Surya Mendapatkan Pencahayaan sehingga menghasilkan listrik DC.
- Listrik dari panel surya dikontrol dan dikendalikan oleh SCC (Solar Charge Controller) untuk diatur voltase dan amperenya agar bisa mencharge Baterai.
- Listrik yang diolah oleh SCC masuk ke baterai.
- Baterai memberikan arus listrik ke alat Inverter untuk merubah listrik DC menjadi AC dan digunakan untuk peralatan rumah tangga.

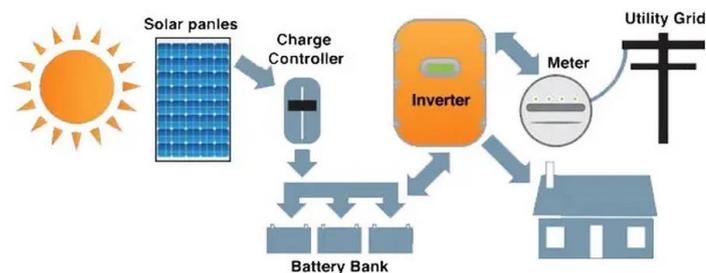
Salah satu keunggulan sistem off-grd bila dibandingkan dengan sistem on-grid yakni dapat tetap menyediakan listrik jika terdapat pemadaman listrik dari PLN. Namun sistem ini memiliki kekurangan yakni kemungkinan tidak dapat memenuhi kebutuhan beban listrik secara total mengingat biaya serta volume baterai dapat menjadi sangat tinggi. PLTS off-grid membutuhkan peralatan yang lebih kompleks serta biaya yang lebih tinggi bila dibandingkan PLTS on-grid. Komponen utama dari sistem off-grid adalah panel surya, charge controller, inverter, serta baterai. Inverter yang digunakan dalam sistem off-grid berbeda dengan sistem on-grid. Pada sistem off-grid inverter yang digunakan adalah inverter dengan kemampuan bi-directional sehingga mampu mengisi baterai dan mengambil listrik dari baterai untuk digunakan ke beban. Selain itu, pengaturan array panel surya dan jumlah baterai yang diperlukan cukup kompleks pada sistem off-grid.



Detail analisis dari kebutuhan listrik akan diperlukan dalam mendesain sistem. Selain itu diperlukan pengkabelan ulang pada panel listrik utama dalam bangunan untuk mengisolasi beban kritikal (kulkas serta beberapa lampu) saja sehingga hanya mereka yang mendapatkan listrik saat terjadi pemadaman listrik PLN. Hal ini berarti peralatan listrik yang tidak kritikal misalnya AC, TV, mesin cuci, serta peralatan listrik yang lain tidak akan mendapatkan listrik saat terjadi pemadaman PLN.⁶

2.3.3 PLTS Hybrid

PLTS Hybrid merupakan sistem Listrik tenaga surya yang mengakomodasi sistem on grid dan off grid. Kita bisa mengkoneksikan listrik langsung ke PLN namun juga bisa menyimpan energi listrik ke Baterai untuk digunakan saat pemadaman atau malam hari.



Gambar 2.6 PLTS Hybrid

Jadi, jika seandainya terjadi pemadaman listrik secara total, rumah atau bangunan akan mengambil energi listrik dari baterai, yang listriknya disuplai oleh solar panel. Dengan kata lain, dalam kondisi pemadaman listrik, Anda tetap bisa beraktivitas seperti biasa karena ada pasokan cadangan listrik dari baterai PLTS on-grid hybrid. Namun, karena adanya fitur baterai ini pula, PLTS on-grid hybrid umumnya ditawarkan dengan harga investasi yang cenderung lebih mahal jika dibandingkan dengan PLTS on-grid reguler.

⁶ <https://www.builder.id/perbedaan-plts-on-grid-dan-off-grid-serta-hybrid-system/>



2.4 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel, ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara.

Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar. Potensi energi surya pada suatu wilayah sangat bergantung pada posisi antara matahari dengan kedudukan wilayah tersebut dipermukaan bumi. Potensi ini akan berubah tiap waktu, tergantung dari kondisi atmosfer, dan lokasi (garis lintang) serta waktu (hari dalam setahun dan jam dalam sehari). Indonesia yang berada dalam wilayah khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahunnya.⁷

2.5 Prinsip Dasar Energi Surya

Setiap lokasi di Bumi menerima sinar matahari setidaknya bagian dari tahun. Jumlah radiasi matahari yang mencapai setiap daerah di permukaan bumi bervariasi sesuai dengan:

- Lokasi Geografis
- Waktu Hari
- Musim
- Lanskap Lokasi
- Cuaca Lokasi

⁷ Ir. Sutarno, "Sumber Daya Energi", (Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013), Hlm.131-132



Karena bumi itu bulat, matahari menyerang permukaan pada sudut yang berbeda, mulai dari 0° (tepat di atas cakrawala) sampai 90° (tepat di atas kepala). Ketika sinar matahari yang vertikal, permukaan bumi mendapatkan semua energi mungkin. Sinar matahari lebih miring adalah, semakin lama mereka melakukan perjalanan melalui atmosfer, semakin tersebar dan menyebar. Karena bumi itu bulat, daerah kutub dingin tidak pernah mendapatkan sinar matahari yang tinggi, dan karena sumbu rotasi miring, bidang ini menerima sinar matahari sama sekali selama bagian dari tahun.

Bumi berputar mengelilingi matahari dalam orbit elips dan lebih dekat dengan matahari selama bagian dari tahun. Ketika matahari lebih dekat bumi, permukaan bumi menerima energi sedikit lebih surya. Bumi adalah dekat matahari saat itu adalah musim panas di belahan bumi selatan dan musim dingin di belahan bumi utara. Namun, kehadiran moderat lautan luas musim panas lebih panas dan musim dingin satu akan mengharapkan untuk melihat di belahan bumi selatan sebagai akibat dari perbedaan ini.

Kemiringan rotasi $23,5^\circ$ di poros bumi adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan jumlah sinar matahari memukul bumi di lokasi tertentu. Rotasi bumi juga bertanggung jawab untuk variasi per jam di sinar matahari. Pada sore hari dan akhir awal, matahari rendah di langit. Sinarnya perjalanan lebih jauh melalui atmosfer daripada di siang hari, ketika matahari berada pada titik tertinggi. Pada hari yang cerah, jumlah terbesar dari energi matahari mencapai kolektor surya sekitar tengah hari surya.

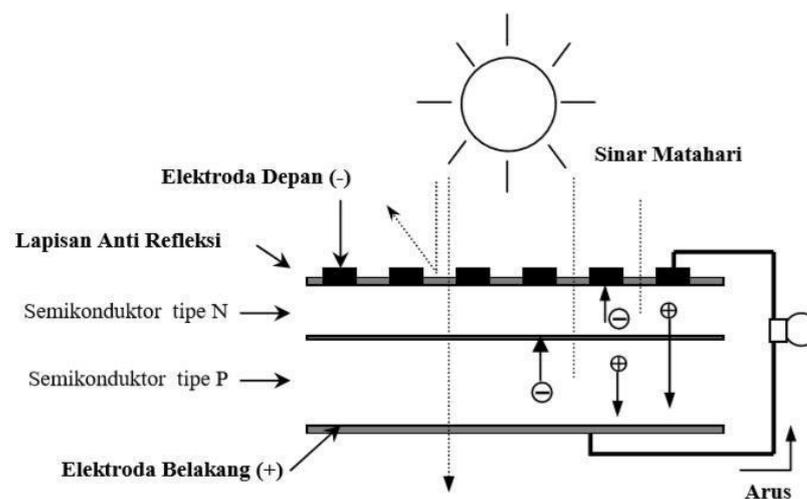
2.6 Panel Surya

Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal. Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau "sol" karena matahari



merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan.⁸ Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya listrik".

Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi. Sel Surya (*Photovoltaic*) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri maupun parallel, untuk meningkatkan tegangan maupun arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari. *Solar cell* terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Pada umumnya, *solar cell* merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic* berupa daya listrik DC yang kemudian akan dikonversikan menjadi daya listrik AC.



Gambar 2.7 Cara Sel Surya PV Bekerja

⁸ Rifaldo Pido, dkk, "Analisa pengaruh Kenaikkan Temperatur Permukaan *Solar Cell* Terhadap Daya Output", Jurnal of Infrastructure & Science Engineering Vol.2, No.2, Oktober 2019, Hlm. 25-26



Menurut Yuliananda dalam jurnalnya, kinerja dari suatu panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor. Berikut ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari panel surya:⁹

1. Temperature Lingkungan

Temperatur lingkungan sangatlah berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperaturnya tetap normal (yaitu pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal akan menurunkan nilai tegangan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 10 °C dari 25 °C akan mengurangi sekitar 0,4 % dari total tegangan yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat pada kenaikan temperatur panel per 100 °C. Suhu memiliki peranan penting dalam panel surya. Pada saat suhu pada panel surya tinggi terjadi penurunan pada panel surya mencapai 20 °C.

2. Intensitas Cahaya Matahari

Arus yang dihasilkan panel surya sangatlah bergantung pada intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaannya. Semakin besar intensitas cahaya matahari, maka semakin besar arus yang dihasilkan.

3. Kondisi Angin

Semakin besar angin yang bertiup disekitar panel maka akan membantu menurunkan suhu permukaan panel surya, sehingga tegangan keluaran dapat terjaga.

4. Kondisi Cuaca

Keadaan cuaca seperti berawan, mendung, berkabut, hingga tingkat kelembapan dan kondisi lainnya akan mempengaruhi tegangan keluaran dari panel surya.

5. Posisi Panel Surya terhadap Matahari

Posisi dimana cahaya matahari tegak lurus terhadap permukaan panel menentukan arus yang dihasilkan, semakin tegak permukaan panel

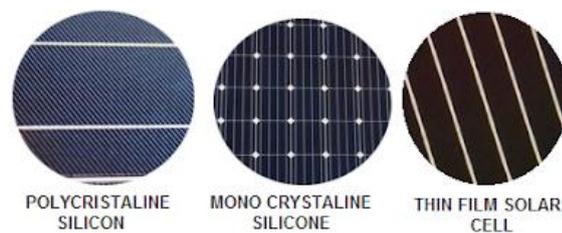
⁹ Subekti Yuliananda, dkk, "Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya", Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya, Vol.1, No.2, November 2015, Hlm.194-195



surya terhadap matahari maka semakin maksimal intensitas cahaya yang diserap oleh panel surya, sehingga posisi panel surya sangat tergantung terhadap waktu dari pergerakan posisi matahari dari terbit sampai terbenam.

2.7 Jenis-Jenis Panel Surya

Jenis panel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar panel surya dibagi dalam tiga jenis, yaitu:¹⁰



Gambar 2.8 Jenis-Jenis Panel Surya

1. Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & 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.

2. Polikristal (Poly-Crystalline)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas

¹⁰ Tommy Alamsyah, dkk, “Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel *Mono-Crystalline* dan *Poly-Crystalline* di Kota Pontianak dan Sekitarnya”, Hlm. 2



permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.

3. Thin Film Photovoltaic

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. 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.

Beberapa Thin Film Photovoltaic (TFPV) yang di komersial menggunakan campuran teknologi Cadmium Telluride (CdTe), Copper Indium Gallium Diselenide (CIGS), dan Amorphous Silicone dan thin-film silicon (a-Si, TF-Si). Jenis sel surya ini mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke berbagai macam ukuran dan potongan sul surya ini dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah.

Ketebalan film bervariasi dari beberapa nanometer hingga puluhan micrometer, Lebih tipis dibandingkan saingannya solar cell konvensional generasi pertama yang menggunakan kristal silicon (c-Si) yang berasal dari wafer Silicone dengan ketebalan hingga 200 mikrometer. Dengan ketebalan yang sangat tipis, hal tersebut memungkinkan TFPV menjadi fleksibel dan memiliki berat yang lebih ringan, biasanya jenis solar cell ini banyak digunakan pada kalkulator, jam tangan, dan peralatan elektronika lainnya yang tidak membutuhkan daya yang besar.



Berdasarkan materialnya, Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar sel surya thin film ini digolongkan menjadi:

a. Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells

Sel surya dengan bahan Amorphous Silicon ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut "stacking" (susun lapis), dimana beberapa lapis Amorphous Silicon ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%. Amorphous Silicon, bahan yg murah dengan karakteristik yang fleksibel.

b. Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells

Sel surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya Amorphous Silicon, yaitu sekitar: 9% - 11%. Cadmium Telluride (CdTe) Campuran Cadmium sangat sensitif dalam merespon spectral dan irradiation matahari.

c. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells

Dibandingkan kedua jenis sel surya thin film di atas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu, jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel surya CdTe. CIGS (Copper Indium Diselenide) bahan ini sangat lentur dan efisiensinya cukup baik, thin film tebalnya 800 nanometer sampai 1 micro meter.

2.8 Karakteristik Panel Surya

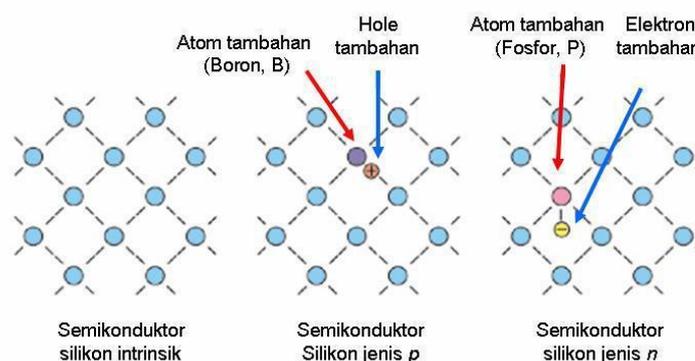
Solar Cell pada umumnya memiliki ketebalan 0.3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub (+) dan kutub (-). Apabila suatu cahaya jatuh pada permukaannya maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan yang tentunya dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor listrik yang berdaya DC. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar bisa



menghubungkan solar cell secara seri atau paralel tergantung sifat penggunaannya. Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek/arus rangkaian pendek” atau ISC (short circuit current), yang sebanding dengan iradiansi terhadap sel surya dapat diukur.

2.9 Prinsip Kerja Panel Surya

Struktur sel surya yaitu berupa dioda sambungan (*juntion*) antara dua lapisan yang terbuat dari semikonduktor yang masing-masing di ketahui sebagai semikonduktor jenis *p* (positif) dan semi konduktor jenis *n* (negatif). Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan muatan negatif. Sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan *hole*, sehingga kelebihan muatan positif. Proses perubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini karena divais sel surya memiliki struktur dioda, yaitu tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis *n* dan jenis *p*. Caranya dengan menambahkan unsur lain ke dalam semikonduktor, maka dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut, seperti Gambar 2.4 berikut ini.

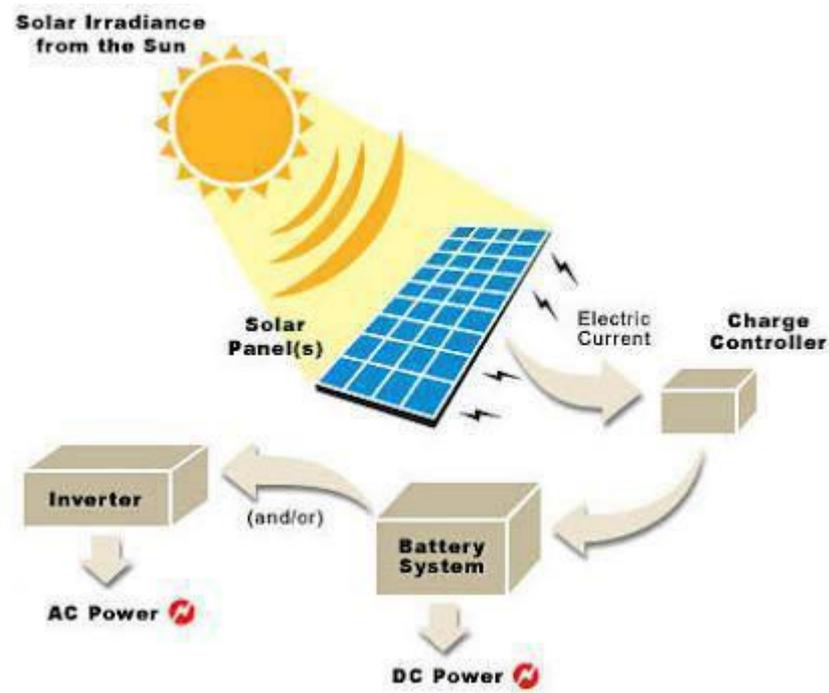


Gambar 2.9 Ilustrasi Pembuatan Silikon Jenis *p* dan *n*

Di dalam semikonduktor alami (semikonduktor intrinsik) ini, electron maupun *hole* memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor.



Pengkonversian sinar matahari menjadi listrik dengan panel *photovoltaic* kebanyakan menggunakan Polycrystalline Silicon sebagai material semikonduktor. Pada Gambar 2.5 mengilustrasikan prinsip kerja photovoltaik panel.



Gambar 2.10 Prinsip Kerja Photovoltaic Panel

Secara sederhana, proses pembentukan gaya gerak listrik pada sebuah sel surya adalah sebagai berikut:

1. Foton dari cahaya matahari menumbuk panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
2. Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Muatan positif yang disebut hole (lubang) mengalir dengan arah yang berlawanan dengan elektron pada panel surya silikon.
3. Gabungan/susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik DC. yang nantinya akan disimpan dalam suatu wadah yang dinamakan baterai.
4. Daya listrik DC tidak dapat langsung digunakan pada rangkaian listrik



rumah atau bangunan sehingga harus mengubah daya listriknya dengan daya listrik AC. Dengan menggunakan konverter inilah maka daya listrik DC dapat berubah menjadi daya listrik AC sehingga sekarang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik.

2.10 Faktor Pengisian

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar $I_{sc} \times V_{oc}$ dari daya maksimum $V_m \times I_m$ yang dihasilkan sel surya.¹¹

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan: FF = Faktor pengisi

V_m = Tegangan maksimum (V)

I_m = Arus maksimum (A)

V_{oc} = Rangkaian tegangan terbuka (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

Daya adalah besaran yang diturunkan dari nilai tegangan dan arus sehingga nilai tegangan dan arus yang dihasilkan merupakan bagian dari kelistrikan yang dimiliki oleh sel surya.

$$P = V \cdot I \dots \dots \dots (2)$$

Dengan: P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Daya maksimum (P_m) diperoleh dengan arus dan tegangan pada setiap

¹¹ Rifaldo Pido, dkk, "Analisa pengaruh Kenaikkan Temperatur Permukaan *Solar Cell* Terhadap Daya Output", Jurnal of Infrastructure & Science Engineering Vol.2, No.2, Oktober 2019, Hlm. 33



titik A kurva I–V pada Gambar 1. Secara grafis daya maksimum pada sel surya berada pada puncak yang memiliki luas terbesar. Titik puncak tersebut dapat disebut maximum power point (MPP). Daya maksimum dari sel surya dapat dihitung dengan Persamaan:

$$P_m = V_m \cdot I_m \dots\dots\dots(3)$$

Dengan: P_m = Daya maksimum keluaran (W)

V_m = Tegangan maksimum (V)

I_m = Arus maksimum (A)

Sukhatme dkk, (2008), Daya masuk (P_{in}) diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area solar cell dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots(4)$$

Dengan: P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (W)

I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

A = Luas area permukaan sel surya (m²)

Sukhatme dkk (2008), Daya keluaran (P_{out}) pada sel surya yaitu besaran nilai dari hasil perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots(5)$$

Dengan: P_{out} = Daya keluaran (W)

V_{oc} = Rangkaian tegangan terbuka (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

FF = Faktor pengisi

2.11 Komponen Pendukung Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.11.1 Solar Charger 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 dihentikan secara otomatis. Cara alat ini mendeteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. Charge controller menerapkan teknologi pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Beberapa fungsinya seperti mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari overcharging, overvoltage dan monitoring temperatur baterai.¹²



Gambar 2.11 Prinsip Kerja Solar Charger Controller

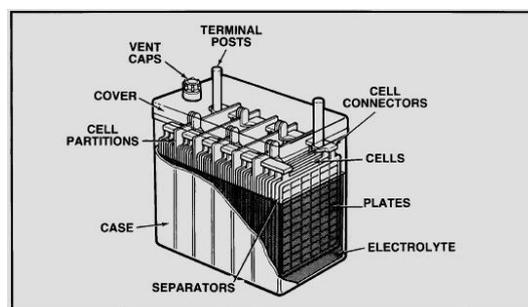
2.11.2 Baterai

Komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari penyerapan sinar matahari oleh panel surya adalah baterai. Energi listrik yang disimpan di dalam baterai dapat berguna untuk tetap menyediakan energi listrik saat cahaya matahari tidak terpancarkan secara maksimal seperti saat langit mendung atau hujan dan di malam hari. Baterai yang digunakan untuk PLTS mengalami proses siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) tergantung pada ada atau tidak

¹² Khairul Akbar Yusri, "Analisis Daya yang Mampu di Hasilkan Panel Surya 600 WP di Politeknik Negeri Sriwijaya, (Laporan Akhir Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2021) Hlm.10-18

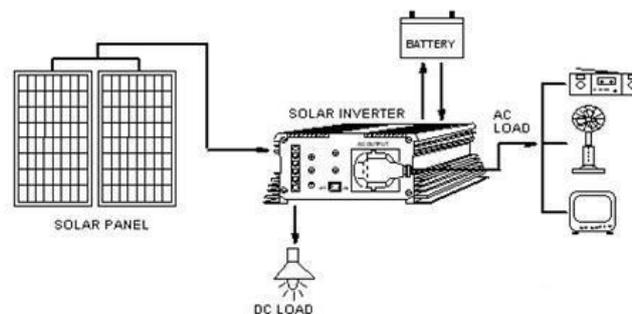


adanya sinar matahari. Selama ada sinar matahari maka panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya melebihi kebutuhan energi listrik maka kelebihan energi listrik itu akan disimpan dalam baterai. Sebaliknya, saat kebutuhan energi listrik melebihi dari energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya maka cadangan energi dari baterai dapat diberikan untuk memenuhi kekurangan energi listrik. Ada dua 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 tinggi dan biayanya lebih murah dibandingkan jenis baterai *nickel-cadmium*. 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.



Gambar 2.12 Baterai atau Aki

2.11.3 Inverter



Gambar 2.13 Prinsip Kerja 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 (*gridconnected*) 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 *inverterline-tied*, yang digunakan dengan sistem panel surya *utility-connected*. Jenis yang ketiga adalah *stand-alone* atau inverter *off-grid*, diciptakan untuk berdiri sendiri.

Di dalam konfigurasi sistem PLTS off-grid, terdapat beberapa jenis inverter, yaitu:

1. DC-AC Inverter-untuk sistem Off-grid DC-Coupling. Inverter daya DC-AC merupakan alat elektronik yang berfungsi mengubah sistem tegangan DC dari keluaran modul PV atau baterai menjadi sistem tegangan AC. Pengubah sistem tegangan ini penting, karena peralatan listrik secara umum memerlukan suplai tegangan AC.
2. String Inverter-untuk sistem Off-grid AC-Coupling. PV String Inverter adalah unit alat yang berfungsi untuk merubah input tegangan DC langsung dari modul PV, menjadi output tegangan AC. Unit ini beroperasinya harus paralel dengan sumber tegangan AC lainnya, yaitu output dari string inverter di-interkoneksi-kan dengan sistem tegangan AC yang berasal dari pembangkit lainnya, seperti listrik diesel genser, atau (Bi-directional) Battery Inverter Karena kemampuannya untuk beroperasi paralel pada tegangan AC, maka sistem PLTS ini memiliki keuntungan, yaitu bila kedepannya hendak diubah menjadi sistem on-grid tidak memerlukan perubahan yang berarti. karena tegangan dari grid PLN bisa langsung diinterkoneksi-



kan pada jaringan AC-Coupling yang sudah ada. Dengan adanya tambahan daya listrik dari output String Inverter akan mengurangi beban bagi pembangkit lainnya. sehingga bila pembangkit tersebut berupa diesel genset, maka konsumsi BBM diesel akan lebih hemat. String Inverter biasanya juga dilengkapi fitur MPPT. agar output daya sistem PLTS selalu pada posisi maksimal mengikuti iradiasi matahari. Akan tetapi untuk mencegah terjadinya kondisi reverse power pada diesel genset, yaitu saat konsumsi daya beban daya output sistem PLTS. maka string inverter dikontrol outputnya sesuai kebutuhan beban. Akan tetapi bila dalam sistem PLTS ini juga terdapat Bidirectional Battery Inverter, maka kelebihan beban tersebut bisa digunakan untuk charging battery.

3. Baterai Inverter-untuk sistem Off-Grid AC-Coupling Battery Inverter adalah unit peralatan yang digunakan untuk mengubah tegangan input DC dari baterai menjadi tegangan output AC pada saat proses discharge. dan sebaliknya untuk mengubah tegangan input AC dari grid menjadi tegangan output DC pada saat proses charging. Karena sifatnya yang bisa bolak-balik ini, maka battery inverter pada sistem ini disebut juga sebagai Bidirectional Battery Inverter.

2.11.4 Balance of System

Merupakan komponen pelengkap seperti jaringan distribusi, kabel, konektor proteksi MCB/MCCB, surge arrester, pentanahan, penyangga panel surya, dan kelengkapan lain yang dapat mendukung berfungsinya sistem PLTS.

**Gambar 2.14 MCB**

a. Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan penghubung antara PLTS terpusat dan konsumen Listrik yang masuk ke jaringan distribusi merupakan tegangan listrik AC yang keluar dari inverter dan transformator Pada umumnya, jaringan distribusi menggunakan saluran udara. Namun, apabila menghendaki distribusi melewati bawah tanah, maka kabel dapat ditanam langsung atau dilewatkan ke dalam suatu saluran. Contohnya, apabila kabel melewati bawah jalan raya, saluran beton digunakan untuk melindungi kabel Pemilihan penggunaan saluran udara atau saluran bawah tanah ditentukan berdasarkan peraturan yang berlaku serta perhitungan ekonomi. Selain itu, meter pengukur produksi listrik dan sirkuit peralatan proteksi biasanya dipasang antara penyulang keluar dari transformator dan titik interkoneksi (Point of Interconnection - POI). Titik ini merupakan titik dimana penjualan listrik diukur, biasanya berlaku untuk sistem PLTS On-Grid. Dalam perencanaan PLTS terpusat, harus dipertimbangkan pula kemungkinan penyambungan fasilitas PLTS terpusat ke jaringan listrik PLN. Persyaratan penyambungan ke jaringan PLN akan mengacu kepada persyaratan interkoneksi yang dimiliki oleh PLN.

b. Panel Distribusi

Panel ini dibutuhkan untuk membagi beban output inverter sesuai dengan kapasitas masing-masing beban. Panel ini juga bisa dilengkapi proteksi



arrester, untuk memproteksi lonjakan tegangan dari eksternal, misalnya induksi sambaran petir.

c. Panel Combiner

Panel ini dibutuhkan untuk menggabungkan rangkaian parallel modul surya ataupun baterai Biasanya dibutuhkan untuk sistem PLTS dengan total daya besar, ataupun sistem PLTS yang menggunakan modul surya dengan kapasitas kecil (misalnya terkait pertimbangan transportasi ke daerah terisolasi), sehingga membutuhkan rangkaian paralel yang cukup banyak.

d. Grounding System

Sistem ini dibutuhkan untuk mengamankan sistem kelistrikan secara keseluruhan agar salah satu output inverter (AC) memiliki potensial yang sama dengan potensial bumi (sebagai referensi titik netral).

e. Penangkal Petir

Sistem ini dibutuhkan untuk mengamankan sistem PLTS keseluruhan agar bila terjadi gangguan petir di kawasan PLTS, hanya disalurkan ke bumi (tidak mengarah ke peralatan PLTS)

f. Kabel PLTS

Untuk sistem PLTS ground-mounted, kabel yang dipilih direkomendasikan untuk menggunakan jenis kabel instalasi bawah tanah.

g. Kabel Distribusi

Kabel distribusi bertujuan untuk mengalirkan listrik dari PLTS ke konsumen/beban. Kabel harus dipilih berdasarkan SNI, dan sesuai dengan kapasitas beban. Apabila ada beban yang terpisah dan jauh dari rumah daya, digunakan instalasi saluran udara.

h. Meter Pengukuran

Meter pengukur pendapatan digunakan untuk pengukuran tagihan Sistem inverter juga menghitung pembangkitan sistem. namun demikian, titik ini mungkin bukan merupakan metode dan lokasi yang disepakati antara pembeli dan penjual (meter pengukur pendapatan biasanya ditempatkan pada titik interkoneksi atau POL yang biasanya ada bagian hilir inverter).



i. Sistem Proteksi

Sistem proteksi seperti sekering, sirkuit pemutus dan saklar dipasang di antara penyulang yang keluar dari transformator dan PO1. Oleh karena itu, petugas PLTS terpusat dapat melepas hubungan pembangkit dan aringan jika sewaktu-waktu diperlukan.

2.12 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya matahari yaitu besar kecilnya sudut datang sinar Matahari pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus.

Untuk mengukur intensitas cahaya digunakan sebuah alat yang bernama lux meter. Lux meter adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan. Biasanya digunakan di dalam ruangan. Kebutuhan pencahayaan setiap ruangan terkadang berbeda. Semuanya tergantung dan disesuaikan dengan kegiatan yang dilakukan. Untuk mengukur tingkat pencahayaan dibutuhkan suatu alat yang bisa bekerja secara otomatis mampu mengukur intensitas cahaya dan menyesuaikannya dengan cahaya yang dibutuhkan.¹³

Pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter yang menghasilkan nilai intensitas cahaya dengan satuan lux. Tidak ada konversi langsung antara lux dan W/m^2 itu tergantung pada panjang gelombang atau warna cahaya. Sehingga untuk mendapatkan konversi antara lux dan W/m^2

¹³ Anies Ma'ruf Fatin, "Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum L.*) Varietas Atlantis dan Super John Dalam Sistem Aeroponik Terhadap Periode Pencahayaan", (Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB Bogor, 2011), Hlm.8



perlu dilakukan percobaan. Namun, ada perkiraan konversi 0,0079 W/m² per lux. Jadi dapat dirumuskan sebagai berikut:¹⁴

$$1 \text{ lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2 \dots \dots \dots (6)$$

Penggunaan konversi antara lux dan W/m² diatas juga telah digunakan oleh M. A. Hossain dan kawan-kawan pada penelitiannya yang berjudul “Performance Evaluation of 1.68 kWp DC operated Solar pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition System”, Steven Chua dengan judul “Light vs Distance” dan Anies Ma’rufatin pada penelitiannya yang berjudul “Respon Pertumbuhan Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Varietas Atlantis dan Super Jhon Dalam Sistem Aeroponik Terhadap periode Pencahayaan”. Mereka semua menggunakan konversi 0,0079 W/m² per Lux.

2.13 Motor Induksi Satu Fasa

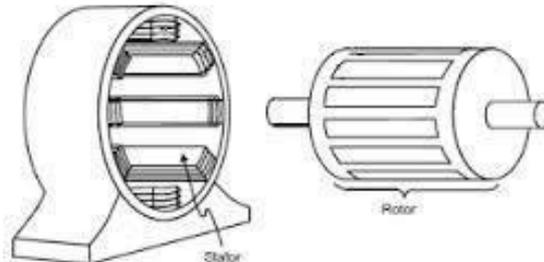
Motor induksi satu fasa adalah satu jenis dari motor-motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik. Motor induksi memiliki sebuah sumber energi listrik yaitu disisi stator, sedangkan sistem kelistrikan disisi rotornya di induksikan melalui celah udara dari stator dengan media elektromagnet. Hal ini yang menyebabkan diberi nama motor induksi. Adapun penggunaan motor induksi di industri ini adalah sebagai penggerak, seperti kompresor, pompa, penggerak utama proses produksi atau mill, peralatan workshop seperti mesin-mesin bor, grinda, crane, dan sebagainya.

Konstruksi motor induksi satu fasa terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak yang bertumpu pada bantalan poros terhadap stator. Motor induksi terdiri atas kumparan stator dan kumparan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga

¹⁴ M. A. Hossain, dkk, “Performance Evaluation of 1.68 kWp DC Operated Solar Pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based data Acquisition System”, Proceeding Of the International Conference on Mechanical Engineering, Bangladesh, December 2011.



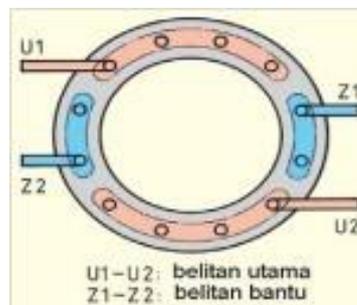
terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor. Bentuk dan konstruksi motor tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:¹⁵



Gambar 2.15 Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa tidak terjadi medan magnet putar seperti halnya motor induksi tiga fasa, sehingga diperlukan suatu kumparan bantu untuk mengawali berputar. Motor induksi satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2).

Prinsip kerja medan magnet utama dan medan magnet bantu pada motor satu fasa dapat dilihat pada gambar berikut:



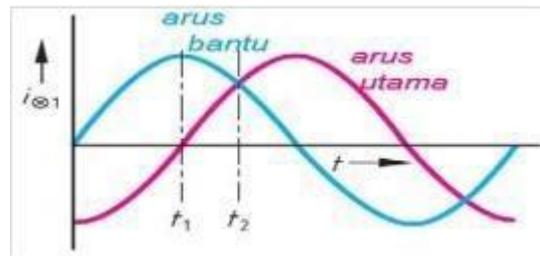
Gambar 2.16 Prinsip medan magnet utama dan bantu motor satu fasa

Belitan utama menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan belitan bantu dibuat dari tembaga berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi belitan utama. Grafik arus belitan bantu I_{bantu} dan arus belitan utama I_{utama} berbeda fasa sebesar

¹⁵ Ken Hasto, dkk, "Kendali Arus *Starting* Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan *Magnetic Energy Recovery Switch (Mers)*", Jurnal Media Elektika, Vol.8, No.2, Desember 2015, Hlm. 14-15

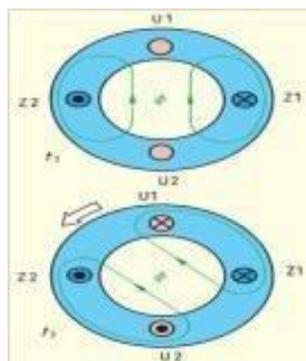


ϕ , hal ini sebabkan karena perbedaan besarnya impedansi kedua belitan tersebut. Perbedaan arus fasa ini menyebabkan arus total, merupakan penjumlahan vektor arus utama dan arus bantu. Medan magnet utama yang dihasilkan belitan utama juga berbeda fasa sebesar ϕ dengan medan magnet bantu. Berikut ini merupakan gambar grafik arus belitan bantu belitan utama.



Gambar 2.17 Gelombang arus medan bantu dan arus medan utama

Belitan bantu Z1-Z2 pertama dialiri arus I bantu menghasilkan fluks magnet Φ tegak lurus, beberapa saat kemudian belitan utama U1- U2 dialiri arus utama I utama yang bernilai positif. Hasilnya adalah medan magnet yang bergeser sebesar 45° dengan arah berlawanan jarum jam seperti pada gambar 1.4. Kejadian ini berlangsung terus sampai satu siklus sinusoidal, sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar pada belitan statornya.



Gambar 2.18 Medan magnet pada stator motor satu fasa

Rotor motor satu fasa sama dengan rotor motor tiga fasa berbentuk batang-batang kawat yang ujung-ujungnya dihubungkan singkatkan dan menyerupai bentuk sangkar tupai, maka sering disebut rotor sangkar. Belitan rotor yang dipotong oleh medan putar stator, menghasilkan tegangan induksi,



interaksi antara medan putar stator dan medan magnet rotor menghasilkan torsi putar pada rotor.



Gambar 2.19 Rotor Sangkar

2.14 Jenis Motor Induksi Satu Fasa

Adapun jenis - jenis motor induksi satu fasa diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Motor Kapasitor
2. Motor Shaded Pole
3. Motor Universal

2.14.1 Motor Kapasitor

Motor kapasitor satu fasa banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti motor pompa air, motor mesin cuci, motor lemari es. Konstruksinya sederhana dengan daya kecil dan bekerja dengan suplai PLN 220V menjadikan motor kapasitor banyak dipakai pada peralatan rumah tangga.¹⁶



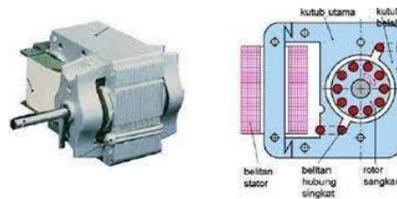
Gambar 2.20 Bentuk fisik motor kapasitor

¹⁶ Zuhail, "Dasar Teknik Listrik", (Bandung: ITB, 1991), Hlm. 132



2.14.2 Motor Shaded Pole

Motor shaded pole atau motor fasa belah termasuk motor satu fasa daya kecil, banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga sebagai motor penggerak kipas angin dan blender. Konstruksi sangat sederhana, pada kedua ujung stator ada dua kawat yang terpasang dan dihubungkan singkatkan fungsinya sebagai pembelah fasa. Belitan stator dibelitkan sekeliling inti membentuk seperti belitan transformator. Rotornya berbentuk sangkar tupai dan porosnya ditempatkan pada rumah stator dipotong dua buah *bearing*.



Gambar 2.21 Bentuk fisik motor shaded pole

2.14.3 Motor Universal

universal termasuk motor satu fasa dengan menggunakan belitan stator dan belitan rotor. Motor universal dipakai pada mesin jahit maupun motor bor tangan. Perawatan rutin dilakukan dengan mengganti sikat arang yang memendek atau pegas sikat arang yang lembek. Konstruksinya yang sederhana, handal, mudah dioperasikan, daya yang kecil, dan torsi yang cukup kecil, dan torsi yang cukup besar.



Gambar 2.22 Komutator pada motor universal

Bentuk stator dari motor universal terdiri dari dua kutub stator.



Belitan rotor memiliki dua belas alur belitan dilengkapi komutator dan sikat arang yang menghubungkan secara seri antara belitan stator dengan belitan rotornya. Aplikasi dengan tahanan geser dalam bentuk pedal yang ditekan dan dilepaskan.



Gambar 2.23 Stator dan rotor motor universal

2.15 Prinsip Kerja Motor Induksi

Belitan stator dihubungkan dengan suatu sumber tegangan akan menghasilkan medan putar dengan kecepatan sinkron. Kecepatan medan magnet putar ter jumlah kutub stator dan frekuensi sumber daya. Kecepatan itu disebut kecepatan sinkron, yang ditentukan dengan rumus:

$$\eta_s = 120 \frac{f}{p} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan: η_s = Kecepatan sinkron (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

p = Jumlah kutub

Garis-garis gaya fluks dari stator tersebut yang berputar akan memotong penghantar-penghantar rotor sehingga pada penghantar rotor tersebut timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) atau tegangan induksi. Berhubung kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka pada kumparan tersebut mengalir arus. Arus yang mengalir pada penghantar rotor yang berada dalam medan magnet berputar dari stator, maka pada penghantar rotor tersebut timbul gaya-gaya yang berpasangan dan berlawanan arah, gaya tersebut menimbulkan torsi yang cenderung memutar rotornya, rotor akan berputar dengan kecepatan (N_r) mengikuti putaran medan putar stator (N_s).



2.16 Gangguan Motor Induksi

Seperti halnya dengan mesin listrik yang lain, motor induksi tidak lepas dari gangguan-gangguan yang dapat merusaknya. Gangguan-gangguan itu dapat datang dari luar motor ataupun dari kondisi buruk motor itu sendiri. Pengaman pada motor induksi bertugas mencegah kerusakan motor bila terjadi gangguan yang sering terjadi pada motor induksi yaitu:

1. Gangguan arus lebih yang terdiri dari arus lebih hubung singkat dan arus beban lebih. Gangguan ini disebabkan oleh overload atau beban lebih
2. Gangguan tegangan kurang atau salah satu fasa hilang, gangguan ini sangat berbahaya sekali karena arus akan naik dengan cepat pada akhirnya belitan motor akan terbakar bila tidak segera diatasi.
3. Gangguan dari komponen mekanis motor. Gangguan ini lebih bersifat pada gangguan bearingnya, fan pendingin dan lain-lain, jika dibiarkan dalam waktu yang lama akan sangat berbahaya bagi motor tersebut.

2.17 Pengertian Daya

Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bola-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif.

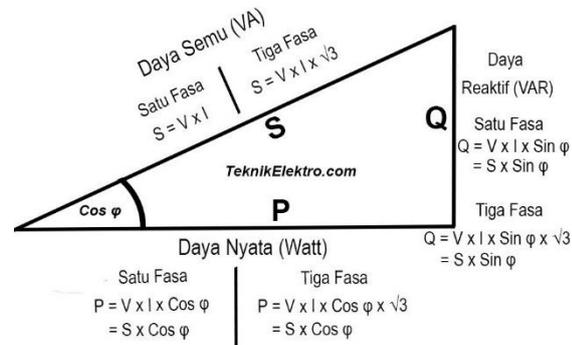
Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

1. Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energy, persatuan waktu atau dengan kata lain adalah daya yang benar - benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif , satuannya adalah Watt (W)
2. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi Daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (X) dan reaktansi kapasitif (X), satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR)



3. Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan Volt Ampere (VA).

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya berikut ini:



Gambar 2.24 Segitiga daya

a. Rumus Segitiga Daya

Pada listrik satu fasa:

- $P = V \times I \times \cos \phi$
- $S = V \times I$
- $Q = V \times I \times \sin \phi$

b. Pada listrik tiga fasa:

- $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$
- $S = V \times I \times \sqrt{3}$
- $Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3}$

2.18 Daya Motor

Perhitungan daya pada Motor AC adalah daya konsumsi dari motor listrik yang melibatkan arus konsumsi motor listrik dan tegangan. Maka secara teoritis adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya} = \text{Arus} \times \text{Tegangan}$$

Maka kita dapatkan Rumus untuk Daya adalah:

$$P = I \times V$$



Dimana:

$P = \text{Daya (Watt)}$

$I = \text{Kuat Arus (A)}$

$V = \text{Voltase (V)}$

Untuk mendapatkan nilai daya, ada 2 variabel yang diperlukan yaitu:

1. Tegangan Listrik (Voltase)

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik.

2. Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu, dalam Satuan Internasional memiliki lambang I dan disebutkan dalam satuan Amper. konsep yang harus kita pegang tentang arus listrik adalah Arus mengalir sesuai kebutuhan beban. Semakin beban meminta besar maka arus yang mengalir semakin besar, begitupula sebaliknya. Linieritas dari hal itu maka ukuran kabel sangat erat kaitannya dengan besarnya Amper yang mengalir.