



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Energi dan Daya

Energi adalah kerja yang dilakukan oleh gaya sebesar satu Newton sejauh satu meter. Jadi, energi adalah suatu kerja di mana seseorang/sesuatu memindahkan sesuatu dengan mengeluarkan gaya sebesar satu Newton, dengan jarak tempuh pemindahan sejauh satu meter.

Di alam berlaku hukum Kekekalan Energi, di mana energi sebetulnya tidak dapat dihasilkan dan tidak dapat dihilangkan, energi hanya berpindah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Contohnya pada pembangkit listrik tenaga air, energi dari air yang bergerak akan berpindah menjadi energi yang menghasilkan energi listrik, energi listrik akan berpindah menjadi energi cahaya jika energi listrik tersebut melewati suatu lampu, dan energi cahaya akan berpindah menjadi energi panas jika bola lampu tersebut dipakai dalam waktu lama, demikian seterusnya.

Energi Listrik adalah sebuah energi yang dapat bersumber dari muatan listrik, yaitu menimbulkan sebuah medan arus listrik statis untuk menghantarkan sebuah arus listrik atau ion pada sebuah zat gas atau cair dalam suatu rangkaian listrik tertutup. Peralatan yang kita gunakan seperti *hairdryer*, *solder*, pemanggang roti dan bola lampu jika dialiri listrik akan mengubah energi listrik menjadi energi bentuk lain seperti energi panas atau cahaya pada lampu.

Daya memiliki arti sebagai energi per satuan waktu. Daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha di dalam sistem tenaga listrik. Daya listrik adalah kemampuan suatu peralatan listrik untuk melakukan usaha akibat adanya perubahan kerja dan perubahan muatan listrik tiap satuan waktu.⁴ Besarnya daya listrik yang dilakukan oleh peralatan listrik dipengaruhi oleh keberadaan tegangan listrik, kuat arus listrik, dan hambatan

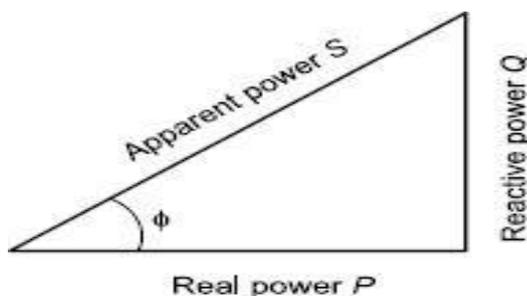
⁴ Safitri, N., Suryati, dan Rachmawati (2017). Analisis Rangkaian Listrik: Teori Dasar, Penyelesaian Soal dan Soal-Soal Latihan (PDF). Lhokseumawe: Penerbit Politeknik Negeri Lhokseumawe. hlm. 6



listrik di dalam rangkaian listrik tertutup, serta keadaannya terhadap waktu. Ketiga besaran listrik tersebut menjadi penentu dari besarnya daya listrik yang diperlukan oleh peralatan listrik untuk bekerja secara optimal. Nilai daya listrik umumnya dicantumkan pada label peralatan listrik untuk menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan oleh perangkat listrik untuk dapat bekerja tiap satuan waktu. Satuan untuk daya listrik umumnya adalah Watt. Daya pada suatu sistem tegangan bolak balik (AC) dikenal dengan tiga macam yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol (P) satuannya adalah Watt (W), daya reaktif dengan simbol (Q) satuannya adalah *volt ampere reactive* (VAR) dan daya semu dengan simbol (S) satuannya adalah *volt ampere* (VA).

Daya aktif adalah daya rata-rata yang sesuai dengan kekuatan sebenarnya ditransmisikan atau dikonsumsi oleh beban. Beberapa contoh dari daya aktif adalah energi panas, energi mekanik, dan cahaya. Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain – lain. Sedangkan daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ialah daya yang dikeluarkan sumber *alternation current* (AC) atau di serap oleh beban.

Hubungan dari ketiga daya diatas disebut sistem segitiga daya dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.1 Segitiga daya



1.2 Pengertian PLTS

PLTS merupakan singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya . ini adalah istilah yang digunakan di Indonesia dalam menyebut sebuah Sistem Pembangkit Listrik yang bersumber dari energi Matahari. PLTS sering juga disebut *Solar Cell*, atau Solar Photovoltaik, atau Solar Energi. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*alternating current*) apabila diperlukan. Oleh karena itu meskipun mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS dapat menghasilkan listrik.

Kelebihan PLTS diantaranya yaitu energi yang selalu terbarukan (*Renewable Energi*) dan tidak memerlukan BBM lagi, bersih dan ramah lingkungan, usia solar panel yang panjang (investasi jangka panjang) 20-25 tahun, sangat cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia, praktis , mudah dan murah perawatannya. Sedangkan kekurangannya yaitu harga pemasangan/pembuatan yang relative mahal dan tidak berfungsi di malam hari.⁶

Sel surya atau panel surya adalah alat yang digunakan untuk menyerap dan mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Di dalam sinar matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Katika foton ini mengenai permukaan sel surya, maka elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Peristiwa ini disebut sebagai peristiwa *Photovoltaic* atau *photoelectric*.

Mengapa energi matahari dapat dikonversikan pada energi listrik oleh panel surya? Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri dari dua jenis lapisan sensitif yaitu lapisan positif (tipe-P) dan lapisan negatif (Tipe-N).

Sel surya bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu persambungan antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif), sedangkan

⁶ Vans Doc Collections, "Penjelasan Lengkap PLTS dan Minyak ke Gas Memanfaatkan", dalam berita Arsip, Desember 2014, hlm.3.



semikonduktortipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya.²

1.3 Jenis Panel Surya

Panel surya terbagi menjadi dua jenis yaitu: (1) tipe Polikristalin dan (2) tipe Monokristalin. Polycrystal merupakan Solar Panel yang memiliki susunan Kristal secara acak, type ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan type monocrystal untuk menghasilkan listrik yang sama, akan tetapi tetap dapat menghasilkan listrik pada saat cuaca mendung. *Polycrystalline* terbuat dari batang silikon yang dihasilkan dengan cara dilelehkan dan dicetak oleh pipa paralel, lalu *wafers* sel surya ini biasanya berbentuk persegi dengan ketebalan 180- 300 μm . *Polycrystalline* dibuat dengan tujuan untuk menurunkan harga produksi, sehingga memperoleh sel surya dengan harga yang lebih murah, namun tingkat efisiensi sel surya ini tidak lebih baik dari *monocrystalline* yaitu sebesar 12-14%.



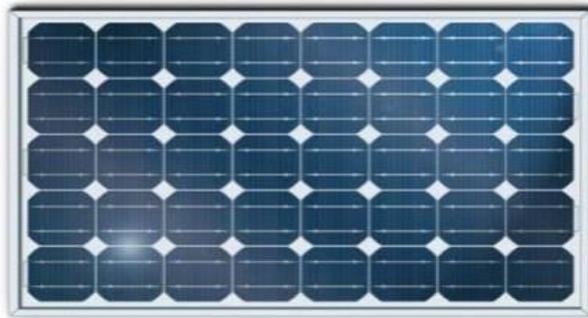
Gambar 2.1 Panel *Polycrystalline* Silikon

Monocrystal merupakan Solar Panel yang paling Efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi, Memiliki efisiensi sampai dengan 15%, Kelemahan dari Panel Jenis ini adalah tidak berfungsi dengan baik saat Cuaca Teduh/Mendung, efektifitasnya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Sel *monocrystalline* biasanya terbuat dari batang silikon tunggal berbentuk silinder, yang kemudian diiris tipis menjadi bentuk *wafers* dengan ketebalan sekitar 200-

² Haerurrozi, dkk. "Analisis Unjuk Kerja Plts On-Grid Di Laboratorium Energi Baru Terbarukan (Ebt) Universitas Mataram", Jurnal. NTB: Universitas Mataram.



250 μm , dan pada permukaan atasnya dibuat alur-alur mikro (*microgrooves*) yang bertujuan untuk meminimalkan rugi-rugi refleksi atau pantulan. Keunggulan utama dari jenis ini yaitu efisiensinya yang lebih baik (14-17%), serta lebih tahan lama (efektif hingga 20 tahun lebih penggunaan).



Gambar 2.2 Panel *Monocrystalline* Silikon

2.4 Jenis Rangkaian Panel Surya

Di Indonesia, energi listrik yang optimum akan didapat apabila modul surya diarahkan dengan sudut kemiringan sebesar lintang lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tersebut berada. Sebagai contoh, untuk daerah yang berada di sebelah utara khatulistiwa maka modul surya harus dihadapkan ke selatan, dan sebaliknya.

2.4.1 Rangkaian Modul Surya Secara Paralel

Untuk mendapatkan arus listrik yang lebih besar dari keluaran arus listrik dari setiap modul surya, maka modul surya dihubungkan secara paralel, dengan cara menghubungkan kutub-kutub yang sama (kutub negatif saling dihubungkan dan kutub positif juga saling dihubungkan).

Apabila masing-masing modul surya mempunyai tegangan kerja 15 Volt dan menghasilkan arus listrik sebesar masing-masing 3 Amper, kemudian ketiganya dihubungkan secara paralel maka akan didapatkan arus listrik total sebesar 9 Ampere sedangkan tegangan totalnya akan sama dengan tegangan masing-masing modul surya yaitu 15 Volt.



2.4.2 Rangkaian Modul Surya Secara Seri

Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan modul surya dihubungkan secara seri yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif.

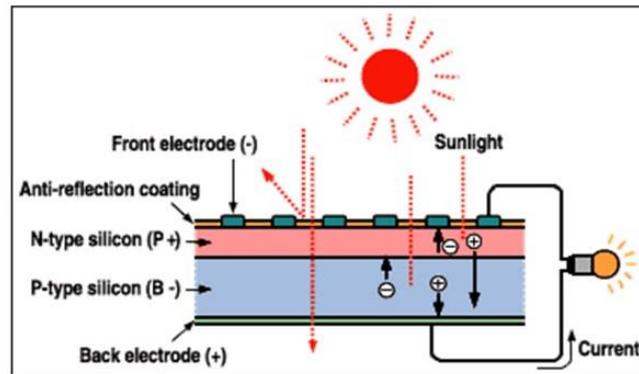
Tegangan total yang didapatkan dengan cara menghubungkan seri tiga buah modul masing-masing mempunyai tegangan 15 Volt adalah merupakan jumlah yaitu 45 Volt, tetapi arus listrik total yang dihasilkan adalah sama dengan masing-masing arus setiap modul yaitu 3 Ampere.

2.5 Prinsip Kerja Solar Cell

Apabila suatu bahan semikonduktor seperti bahan silikon disimpan dibawah sinar matahari, maka bahan silikon tersebut akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang biasa disebut *efek fotolistrik*. Efek fotolistrik adalah pelepasan elektron dari permukaan metal yang disebabkan penumbukan cahaya. Efek ini merupakan proses dasar fisis dari *photovoltaic* merubah energi cahaya menjadi listrik.

Cahaya matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut sebagai "*photons*" yang mempunyai sejumlah energi yang besarnya tergantung dari panjang gelombang pada spektrum cahaya. Pada saat photon menumbuk sel surya maka cahaya tersebut akan dipantulkan atau diserap atau mungkin hanya diteruskan. Cahaya yang diserap akan membangkitkan listrik.

Pada saat terjadi tumbukan, energi yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor. Dengan energi yang didapat dari photon, elektron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada. Dengan melepaskan dari ikatannya, elektron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau "*hole*".

Gambar 2.4 Penampang *solar cell*¹

Secara umum, konstruksi sebuah *solar cell* terdiri dari 3 bagian, yaitu:

1. Lapisan penerima radiasi
2. Lapisan tempat terjadinya pemisahan muatan akibat fotoinduksi
3. Lapisan kontaktor

2.6 Jenis-Jenis PLTS

Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS diklarifikasi menjadi dua yaitu. Sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (*off-grid PV plant*), atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*), dan sistem PLTS terhubung dengan jaringan (*grid-connected PV plant*) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS *On-grid*. Sedangkan apabila PLTS dalam penggunaannya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem hybrid. Menurut IEEE standard 929-2000 sistem PLTS dibagi menjadi tiga kategori, yaitu PLTS skala kecil dengan batas 10 kW atau kurang, skala menengah dengan batas antara 10 kW hingga 500 kW, skala besar dengan batas di atas 500 kW (Omran, IEEE, 2000)

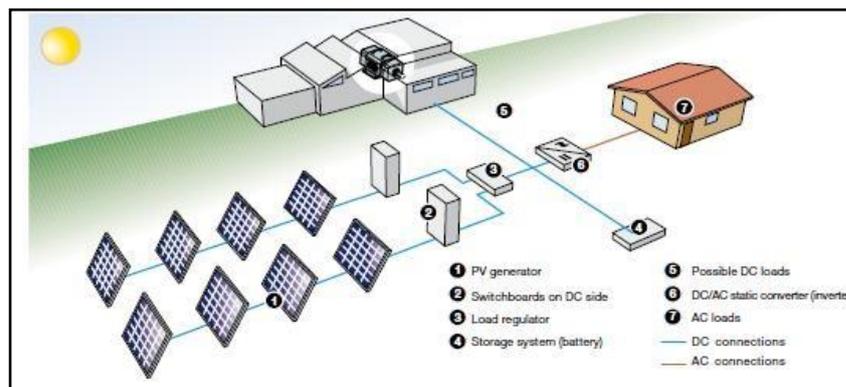
2.6.1 PLTS Terpusat (*Off-Grid*)

Stand alone PV sistem atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk

¹ Dian Furqani Alifyanti, dkk. "Pengaturan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)", dalam Jurnal Kajian Teknik Elektro Vol1.No.1, hlm. 82.



daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem PLTS terpusat disebut juga *Stand Alone PV Sistem* yaitu sistem pembangkit yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic module* untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Secara umum konfigurasi PLTS sistem terpusat dapat dilihat seperti blok diagram di bawah:



Gambar 2.5 Prinsip Kerja PLTS *Off-Grid*⁵

Prinsip kerja PLTS sistem terpusat dapat diuraikan sebagai berikut:

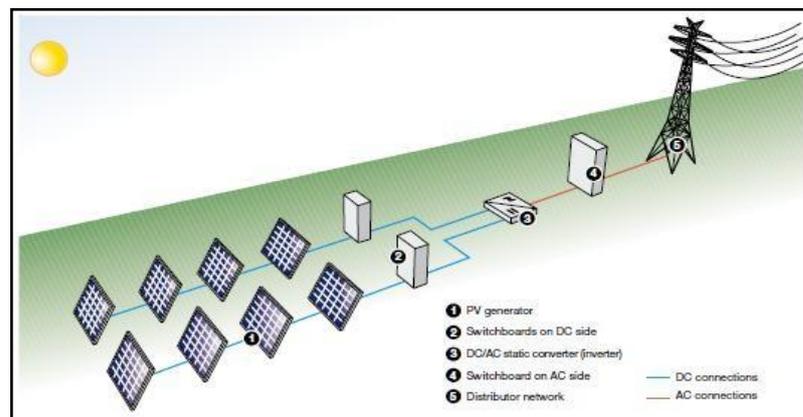
1. Pada PLTS sistem terpusat ini, sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller* agar tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi cell. Intensitas matahari maksimum mencapai 1000 W/m^2 , dengan efisiensi cell 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar 140 W/m^2 .
2. Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban.

⁵ Sianipar, Rafael. 2014. "*Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*", Jurnal. Jakarta :Universitas Trisakti.



2.6.2 PLTS Terinterkoneksi (*On-Grid*)

Grid Connected PV Sistem atau PLTS terinterkoneksi merupakan solusi *Green Energi* bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem ini menggunakan modul surya (*photovoltaic module*) untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Dengan adanya sistem ini akan mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya. Sesuai namanya, *grid connected PV*, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin.



Gambar 2.6 Prinsip Kerja PLTS *On-Grid*

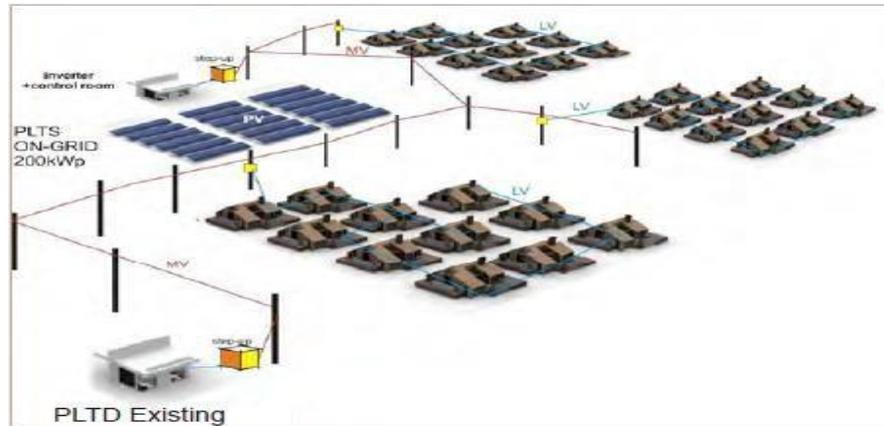
2.6.3 PLTS *Hybrid*

Sistem *hybrid* yaitu sistem yang melibatkan 2 atau lebih sistem pembangkit listrik, umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hybrid adalah genset, PLTS, Mikrohidro, dan tenaga angin. Sehingga sistem *hybrid* bisa berarti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-Tenaga Angin, dan lainnya.

Tujuan dari *Hybrid PV-Genset* adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit (dalam hal ini genset dan PLTS) sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Kombinasi *Hybrid PV-Genset* akan mengurangi jam operasi genset (misalnya dari 24 jam per hari menjadi hanya 4 jam per hari pada saat *peak load* saja) sehingga biaya operasi dan manajemen dapat lebih efisien, sementara PLTS digunakan untuk mencatu *base load*, sehingga tidak dibutuhkan investasi awal yang besar.



Dengan demikian Hybrid PV-Genset akan dapat menghemat operasi dan *management cost*, mengurangi inefisiensi penggunaan genset, serta sekaligus menghindari kebutuhan investasi awal yang besar.



Gambar 2.7 Skema *Hybrid Photovoltaic Power Sistem*

Tabel 2.1 Jenis-jenis PLTS

	PLTS Off-grid	PLTS on-grid	PLTS Hybrid
Deskripsi	Sistem PLTS yang output daya listriknya secara mandiri mensuplai listrik ke jaringan distribusi pelanggan atau tidak terhuung dengan jaringan listrik PLN	Bisa beroperasi tanpa baterai karena output listriknya disalurkan ke jaringan distribusi yang telah disuplai pembangkitlainnya (misalnya jaringan PLN)	Gabungan dari sistem PLTS dengan pembangkit yang lain (misalnya PLTD/ Pusat Listrik Tenaga Diesel), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)
Baterai	Dibutuhkan. Agar bisa memberikan suplai sesuai kebutuhan beban	Tidak dibutuhkan	Bisa off-grid (denganbaterai) atau on-grid (tanpa baterai)



Manfaat	Menjangkau daerah yang belum ada jaringan PLN	Berbagi beban atau mengurangi beban pembangkit lain yang terhubung pada jaringan yang sama	Memaksimalkan penyediaan energi dan berbagai potensi sumber daya yang ada
PLTS Terpusat	PLTS yang memiliki sistem jaringan distribusi untuk menyalurkan daya listrik ke beberapa rumah pelanggan. Keuntungan dari PLTS terpusat adalah penyaluran daya listrik dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang berbeda-beda di setiap hunian pelanggan		
PLTS Tersebar/ Terdistribusi	PLT yang tidak memiliki sistem jaringan distribusi sehingga setiap rumah pelanggan memiliki sistem PLTS tersendiri		
	Contoh PLTS off-grid tersebar: Solar Home Sistem (SHS)	Contoh PLTS on-grid tersebar: Solar PV Rooftop	

Sumber: Tetra Tech ES, Inc., "Panduan Studi Kelayakan PLTS Terpusat." 2018

2.7 Perhitungan Modul Surya

Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (input), di mana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas TV modul dengan persamaan.

Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan dilakukan pengukuran terhadap arus (I) dalam tegangan (V) pada gugusan sel surya yang disebut modul.

2.7.1 Fill Faktor

Fill faktor (FF) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya dengan data yang tertera pada panel surya :



$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- FF : Fill Faktor
- V_{mp} : Maks. Power Voltage (Volt)
- I_{mp} : Maks. Power Current (Ampere)
- V_{oc} : Oven Circuit Voltage (Volt)
- I_{sc} : Short Circuit Current (Ampere)

2.7.2 Daya

Daya maksimum per modul surya adalah perkalian antara nilai oven Circuit voltage, short circuit current serta nilai fill factor, di mana :

$$P_{maks} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- P_{maks} : Daya Maksimum (Watt)
- V_{oc} : Oven Circuit Voltage (Volt)
- I_{sc} : Short Circuit Current (Ampere)
- FF : Fill Faktor

Daya masuk tergantung pada sinar matahari yang mengenai permukaan solar cell sebanding dengan banyak atau luas area modul, dimana :

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

Dimana :

- P_{in} : daya input akibat irradiance matahari (Watt)
- I_r : Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)
- A : Luas area permukaan modul surya (m²)

Daya aktif yaitu daya yang terpakai untuk melakukan usaha atau energi sebenarnya. Satuan daya aktif yaitu watt, dimana :

$$P_{aktif} = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$



Dimana :

P_{aktif} : Daya aktif (Watt)

V : Tegangan (V)

I : Arus listrik (A)

$\cos \varphi$: Faktor daya

2.7.3 Efisiensi Modul Surya

Efisiensi pada panel surya merupakan ukuran keluaran daya listrik panel surya (dalam watt) dibandingkan dengan luas permukaannya. Umumnya, semakin tinggi efisiensi sebuah panel surya, semakin banyak daya yang bisa didapatkan dari panel surya tersebut.

Mengetahui efisiensi panel penting untuk membantu dalam memilih panel surya yang tepat untuk sistem panel surya. Untuk areal pemasangan yang memiliki lahan sempit, diperlukan efisiensi pada panel surya yang lebih tinggi, sehingga dapat memaksimalkan produksi daya yang dihasilkan.

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan yang dapat di bangkitkan oleh sel dengan energi input yang diperoleh dari irradiance matahari, dimana :

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

η : Efisiensi (%)

P_{max} : Daya Modul Surya (Watt)

P_{in} : Daya input akibat irradiance matahari (Watt)

2.8 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan suatu kesatuan sistem yang terdiri dari beberapa komponen, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya yaitu:

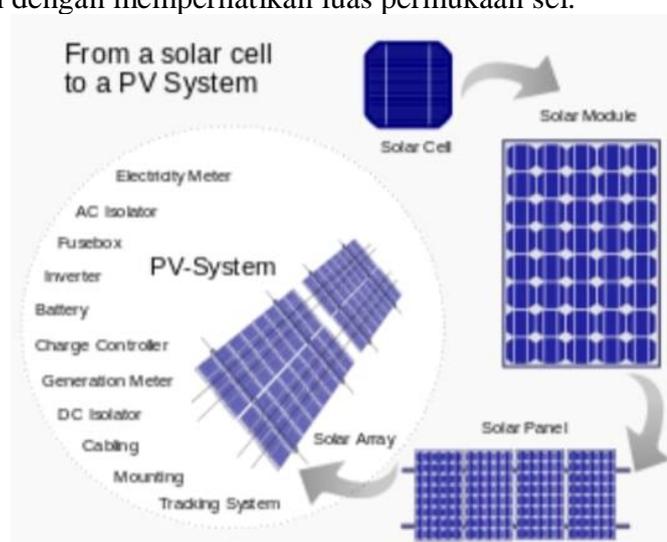


2.8.1 Solar Cell

Solar cell atau sel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*.

2.8.2 Photovoltaic System

Photovoltaic merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (*frame*) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut *array*. PV modul yang terangkai seri dari sel-sel surya ditujukan untuk meningkatkan, atau dalam hal ini dapat dikatakan menggabungkan tegangan (VDC) yang dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel.



Gambar 2.8 Diagram hubungan antara *Solar Cell*, *Solar Module*, *Solar Panel*, *Solar Array*, dan *PV-Sistem*



2.8.3 Penyangga dan Sistem Pelacak (*Mounting and Tracking Systems*)

Modul surya harus terpasang pada suatu struktur/kerangka, untuk menjaganya tetap terarah pada arah yang tepat, agar lebih tersusun rapi dan terlindungi. Struktur pemasangan modul surya bisa pada struktur yang tetap (*fixed*) atau dengan sistem pelacak sinar matahari, atau biasanya disebut *tracking systems*.

a. Sistem penyangga tetap (*fixed mounting systems*)

Sistem pemasangan tetap (*fixed*) menjaga barisan dari modul surya pada sudut kemiringan yang tetap, menghadap pada suatu sudut tetap dari arah matahari yang telah ditentukan. Sudut kemiringan dan arah/orientasi pada umumnya disesuaikan berdasarkan lokasi PLTS terpasang. Sistem ini lebih sederhana, murah, dan lebih sedikit perawatan daripada sistem *tracking*.

b. Sistem pelacak (*tracking systems*)

Sistem pelacak adalah suatu peralatan atau sistem yang digunakan untuk mengarahkan panel surya atau pemantul cahaya terpusat terhadap matahari, sehingga dengan mengarahkan panel surya secara tepat pada posisi matahari, panel surya tersebut dapat memaksimalkan tegangan yang akan dihasilkannya.

2.8.4 Inverter

Inverter merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus DC menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*power condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik searah (DC) yang dihasilkan oleh solar modul menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang nantinya akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu:

1. Inverter 1 fasa untuk sistem PLTS yang bebannya kecil.
2. Inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN.

Berdasarkan karakteristik dari performa yang dibutuhkan, inverter untuk sistem PLTS berdiri sendiri (*stand-alone*) dan PLTS *grid-connected* memiliki karakteristik yang berbeda, yaitu:



1. Pada PLTS *stand-alone*, inverter harus mampu mensuplai tegangan AC yang konstan pada variasi produksi dari modul surya dan tuntutan beban (*load demand*) yang dipikul.
2. Pada PLTS *grid-connected*, inverter dapat menghasilkan kembali tegangan yang sama persis dengan tegangan jaringan pada waktu yang sama, untuk mengoptimalkan dan memaksimalkan keluaran energi yang dihasilkan oleh modul surya.

2.8.4.1 Konsep Hubungan Inverter

Konsep hubungan inverter menjelaskan tentang bentuk rangkaian inverter pada suatu sistem PLTS terhadap pembangkitan daya listrik oleh panel surya, dan hubungan antara inverter dengan beban atau jaringan. Secara umum ada dua kelas inverter yaitu, inverter sentral atau disebut *central inverters* dan *string inverters*.

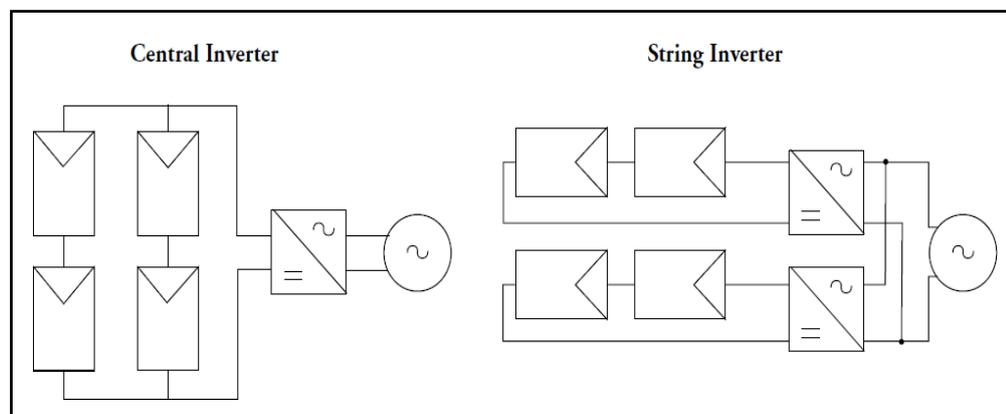
a. Inverter Sentral (*Central Inverters*)

Inverter sentral (*central inverters*) biasanya digunakan pada berbagai sistem PLTS skala menengah dan skala besar. Central inverters menyajikan instalasi yang lebih handal dan sederhana, namun memiliki kekurangan yaitu ketidaksepadanan rugi-rugi (*mismatch losses*) meningkat yang disebabkan variasi profil tegangan dan arus dari modul surya pada *array* yang sama, dan ketiadaan dari *maximum power point tracking* (MPPT) untuk setiap *string*. Hal ini mungkin menyebabkan masalah pada array yang memiliki kemiringan dan sudut orientasi beragam/majemuk, berkaitan dengan iradiasi, bayangan atau tipe modul surya yang berbeda. Central inverters biasanya merupakan sistem tiga fasa dan dilengkapi transformator frekuensi jaringan (*grid frequency transformer*). Selain itu central inverters menggunakan konfigurasi master slave yaitu beberapa inverter tidak akan bekerja/padam ketika iradiasi dalam keadaan rendah, sedangkan inverter lainnya tetap bekerja sesuai/mendekati pembebanan yang optimal. Ketika iradiasi tinggi, semua beban dibagikan dan ditanggung oleh semua inverter (Solar Guide Book (IFC) 2012).



b. Inverter String

Inverter string menggunakan inverter yang berlipat ganda untuk string array yang berlipat ganda juga. Penggunaan inverter string sangat banyak dan meningkat karena inverter string dapat mengatasi batasan daya yang luas dan lebih murah dalam proses pabrikasinya daripada jenis central inverters. Sistem ini sangat cocok untuk kondisi modul surya yang tidak bisa dipasang pada orientasi yang sama, berbeda spesifikasi, atau perbedaan iradiasi yang diterima. Sistem ini memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dalam perbaikan dan penggantian, karena tidak diperlukan personil dan spesialis, dan waktu yang dibutuhkan tidak selama sistem sentral, jadi tidak banyak hasil produksi energi yang terbuang saat perbaikan (Solar Guide Book (IFC) 2012).



Gambar 2.9 Konfigurasi Inverter (Solar Guide Book (IFC) 2012 P. 35)

2.8.5 Transformator

Transformator atau lebih dikenal dengan istilah trafo menjadi alat penting pertama yang akan kita bahas. Pada prinsipnya trafo adalah sebuah alat untuk mentransfer energi listrik dari sirkuit satu ke sirkuit yang lain melalui sepasang konduktor induktif berupa lilitan. Arus listrik yang masuk ke lilitan primer menghasilkan fluks magnet dengan besar tertentu yang akan diteruskan ke lilitan sekunder melalui inti trafo (besi), dan melalui lilitan sekunder tersebut fluks magnet akan berubah kembali menjadi arus dan tegangan listrik. Besar dari



tegangan listrik di sisi sekunder dapat berbeda dengan sisi primer, karena nilai tegangan sekunder tergantung dari perbandingan jumlah lilitan antara primer dan sekunder.

Sebelum diperkenalkannya trafo pada tahun 1885, listrik yang dihasilkan oleh generator langsung didistribusikan ke pengguna dengan besar voltase yang tetap sesuai dengan yang dihasilkan oleh generator. Besar tegangan listrik hanya tergantung dari kemampuan generator itu sendiri. Hal ini menyebabkan pendistribusian listrik tidak dapat dilakukan kepada konsumen yang terlalu jauh dari generator, karena di sisi lain voltase yang dihasilkan generator akan terus menurun sepanjang konduktor kabel distribusi. Sehingga dengan adanya transformator, tegangan listrik distribusi dapat dinaikkan ke level tertinggi sesuai dengan kebutuhan.