

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Teori Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

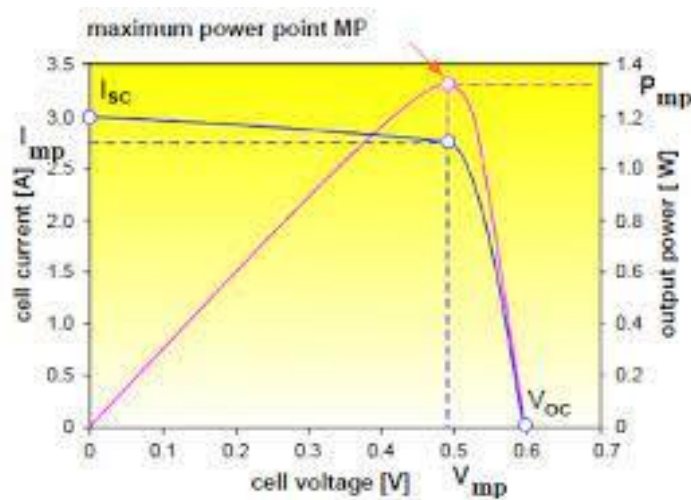
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah mengubah (konversi) energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. Energi listrik yang dihasilkan PLTS berbentuk DC (*Direct Current*). Bentuk DC ini bisa dirubah ke bentuk AC dengan menggunakan inverter. PLTS adalah pencatu daya yang dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri maupun hibrida.

#### **2.2 Karakteristik Sel Surya**

Sel surya memiliki kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran (kurva I-V) dan daya dengan tegangan keluaran sel surya (kurva P-V). Pada saat berada pada titik kerja maksimal maka daya keluaran yang dihasilkan akan maksimal. Tegangan di *maximum power point voltage* (VMPP) lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus saat MPP adalah lebih rendah dari arus short circuit (Isc).

- a. Short Circuit Current (ISC) : terjadi pada suatu titik dimana tegangannya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluaran juga nol.
- b. Open Circuit Voltage (VOC) : terjadi pada suatu titik dimana arusnya adalah nol, sehingga pada saat ini pun daya keluaran adalah nol.

Maximum Power Point (MPP) adalah titik daya output maksimal, yang sering dinyatakan sebagai “*knee*” dari kurva IV.



**Gambar 2.1 Kurva Karakteristik Arus-Tegangan**

### 2.3 Komponen-komponen PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya, umumnya terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

#### 2.3.1. Panel Surya

Panel surya adalah sebuah alat yang terdiri dari sel surya yang terbuat dari bahan semi konduktor untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya didasari oleh pertemuan semikonduktor jenis P dan semikonduktor jenis N.<sup>[1]</sup> Panel surya tersusun dari modul surya yang dirangkai secara seri maupun paralel sesuai dengan kebutuhan daya listrik tertentu yang bertugas menyerap ini adalah sel surya. Sel surya sendiri terdiri dari beberapa komponen *photovoltaic* atau komponen yang dapat mengubah cahaya (*photo*) menjadi listrik (*voltaic*). Umumnya sel surya terdiri dari lapisan silikon yang bersifat semikonduktor, metal, lapisan anti reflektif, dan strip konduktor metal. Lapisan-lapisan inilah yang berjasa menghasilkan listrik agar bisa kamu nikmati di rumah. Banyaknya sel surya yang disusun untuk menjadi panel surya akan berbanding lurus dengan energi yang dihasilkan. Semakin banyak sel surya yang digunakan, maka semakin banyak pula energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik.

Panel surya atau modul surya terbuat dari bahan semikonduktor (umumnya silikon) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Sebuah sel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel.

Ada banyak jenis sel surya yang telah dimanfaatkan, Namun sel surya berbasis silikon adalah paling sering yang kita jumpai dalam penggunaan masal. Beberapa jenis yang bisa kita temui di pasaran yaitu:

1. Monokristal Silikon (*Mono-crystalline*)

Merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. 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 / solar cell yang memiliki susunan kristal acak. Type Polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung.

3. Silikon amorf (*Amorphous silicon*)

Amorphous silicon Silikon amorf adalah tipe panel dengan harga yang paling murah akan tetapi efisiensinya paling rendah.

4. *Hybrid* silikon

*Hybrid* silikon adalah panel surya yang mengkombinasikan teknologi termal dan fotovoltaik dalam satu modul; di depan panel surya dan panel termal yang biasanya secara konvensional dipasang secara terpisah terciptalah panel surya hibrida yang mampu menghasilkan listrik dan panas secara bersamaan.

Cara kerja sel surya sederhananya, ketika sel surya menyerap cahaya, maka terdapat pergerakan antara elektron disisi positif dan negatif. Adanya pergerakan

ini menciptakan arus listrik sehingga dapat digunakan sebagai energi alat-alat elektronik. Lebih detilnya, energi matahari membawa foton yang bisa dipecah menjadi ion positif dan ion negatif. Ion negatif ini akan bergerak menuju lapisan negatif yang ada di sel surya, dan begitu pula sebaliknya dengan ion positif. Ion negatif akan bergerak menuju ion positif melewati beberapa lapisan. Pergerakan inilah yang menciptakan arus listrik. Semakin banyak sel surya yang terpasang, semakin besar pula voltase maupun arus yang dihasilkan. Oleh karena itu pemasangan panel surya juga disusun berdasarkan kebutuhan listrik khususnya dalam rumah tangga.

Pengoperasian maksimum panel surya sangat tergantung pada hal sebagai berikut :

#### 1. Temperatur

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap pada temperatur 25°C. Jika kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal akan melemahkan tegangan (VOC) yang dihasilkan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C (dari 25°C) akan mengakibatkan berkurang total daya yang dihasilkan sekitar 0.5%. Rumus untuk menghitung daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar panel surya mengalami kenaikan °C dari temperatur standarnya, dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$P_{\text{saat naik } ^\circ\text{C}} = 0.5\%/^{\circ}\text{C} \times PMPP \times \text{kenaikan temperatur } (^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperatur naik menjadi t°C dari temperatur standar diperhitungkan dengan rumus :

$$PMPP \text{ saat } t \text{ naik } t^{\circ}\text{C} = PMPP \times P_{\text{saat } t \text{ naik } t^{\circ}\text{C}} \quad (2)$$

Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$TCF = PMPP \text{ saat } t \text{ naik } t^{\circ}C \times PMPP \quad (3)$$

## 2. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari akan berpengaruh pada daya keluaran panel surya. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka arus (ISC) akan semakin rendah. Hal ini membuat titik Maksimum Power Point berada pada titik yang semakin rendah.

## 3. Orientasi Panel Surya

Orientasi dari rangkaian pada panel surya (*array*) ke arah matahari adalah penting, agar panel surya (*array*) dapat menghasilkan energi maksimal.

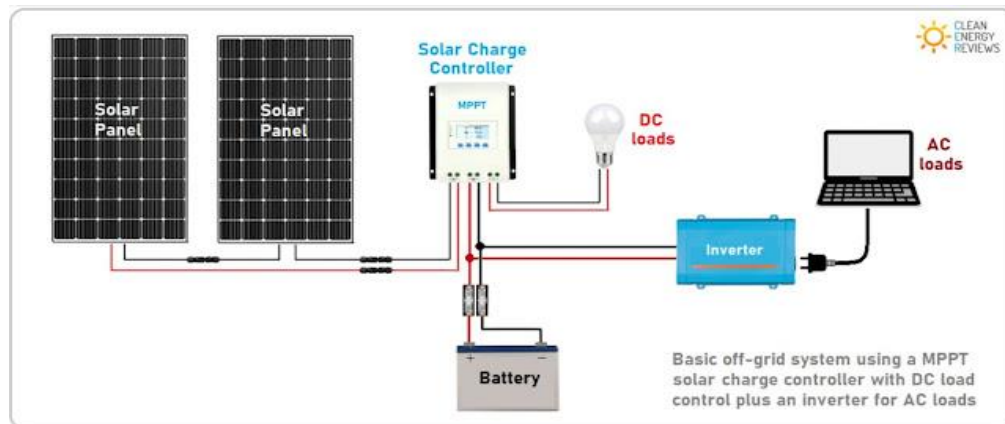
## 4. Sudut Kemiringan Panel Surya

Sudut kemiringan memberikan dampak yang besar terhadap radiasi matahari di permukaan panel surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan panel surya sama dengan lintang lokasi.

### 2.3.2. Charge Controller

Fungsi dari komponen ini adalah untuk menjaga agar baterai tidak kelebihan tegangan (*over charger*) dengan begitu maka akan memperawet umur baterai. *Charge controller* digunakan untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus searah dari baterai ke peralatan listrik (beban). *Charge controller* dapat mendeteksi kapasitas baterai, bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti. Pengguna PLTS dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik yang terdapat di dalam baterai dari informasi dari *charge controller*.

Dalam penggunaan panel surya dengan sistem *off-grid*, terdapat sebuah alat yang penting untuk diperhatikan. Alat tersebut adalah SCC (*Solar Charge Controller*), terpasang di antara panel surya dan baterai. SCC adalah sebuah alat elektronik yang berguna mengatur arus listrik yang masuk ke dalam baterai.



**Gambar 2.2 Solar Charge Controller**

a. Fungsi Utama dari *Solar Charge Controller*

1. Menyesuaikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai, supaya baterai tidak mengalami *overcharge* atau kelebihan pengisian yang berakibat baterai bisa cepat rusak. Dengan begitu, baterai selalu dalam keadaan kondisi penuh, tetapi tanpa harus *overcharge*.
2. Menghindari baterai *Over Discharge* atau baterai dalam keadaan lemah. Artinya, apabila baterai dalam kondisi lemah atau tegangannya turun terlalu rendah, SCC akan menghentikan aliran ke beban. Ini penting, karena apabila baterai dalam kondisi tegangan sangat rendah, baterai akan cepat rusak.
3. Menghentikan arus terbalik ketika tidak ada sumber energi matahari yang memadai. Ketika mendung yang sangat gelap atau pada malam hari, baterai tidak bisa di *charge*. Itu memungkinkan terjadinya aliran listrik dari baterai ke solar panel. Dengan adanya SCC, hal itu tidak akan terjadi.

b. Jenis-jenis *Solar Charge Controller*

1. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Kelebihan:

- Memiliki efisiensi yang tinggi.

- Cocok digunakan untuk pemasangan panel surya dengan skala besar.
- Ketika baterai dalam keadaan lemah, kinerjanya malah lebih baik.
- Dapat mengambil mengambil daya maksimum dari PV.

## 2. PWM (*Pulse Width Modulation*)

Pulse Width Modulation (PWM) atau Modulasi Lebar Pulsa adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (duty cycle) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Satu siklus pulsamerupakan kondisi HIGH kemudian berada di zona transisi ke kondisi LOW.

Kelebihan:

- Memiliki harga yang lebih ekonomis.
- Cocok digunakan untuk pemasangan panel surya dengan skala kecil.
- Ketika baterai dalam keadaan penuh, kinerjanya malah lebih baik.
- Lebih awat karena PWM menggunakan komponen yang lebih sedikit.

### **2.3.3. Battery**

Seperti baterai pada umumnya, baterai dalam pemasangan pembangkit listrik juga berfungsi sebagai penyimpan daya. Untuk baterai yang digunakan sebaiknya menggunakan baterai gel atau baterai kering. Meskipun berharga lebih mahal, baterai ini paling sering direkomendasikan dan disebut-sebut sebagai baterai terbaik untuk listrik tenaga surya.

### **2.3.4. Inverter**

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah dari panel surya atau baterai menjadi arus listrik bolak-balik. Dengan

frekuensi 50 Hz/60 Hz. Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sebesar 90%. Komponen yang berfungsi untuk mengkonversikan tegangan searah menjadi tegangan bolak balik (AC). Oleh karena itu komponen ini bersifat optional. Tidak diperlukan untuk beban yang hanya membutuhkan tegangan searah (DC).

## **2.4 *Solar Tracker***

### **2.4.1. Pengertian *Solar Tracker***

*Solar tracker* adalah perangkat yang berfungsi untuk mengatur panel surya agar mengikuti matahari saat bergerak melintasi langit. Ketika solar tracker digabungkan dengan panel surya, panel surya akan mengikuti jalur matahari dan menghasilkan lebih banyak energi. Teknologi *solar tracker* terbaru sudah bekerja secara otomatis tanpa ada campur tangan manusia. Cara kerja *solar tracker* adalah mendeteksi perubahan pergerakan cahaya matahari dan mengubah sudut panel surya untuk diarahkan ke titik baru matahari berada. Perangkat ini mengubah sudutnya sepanjang hari untuk mengikuti jalur matahari sehingga memaksimalkan penangkapan energi. *Solar tracker* membantu meminimalkan sudut yang dibuat oleh sinar matahari dengan garis tegak lurus ke permukaan antara cahaya yang masuk dan panel surya.

### **2.4.2. Jenis *Solar Tracker***

#### **a. *Solar Tracker* Manual**

Pelacak manual membutuhkan seseorang yang secara fisik bertugas menyesuaikan panel surya pada waktu yang berbeda sepanjang hari untuk mengikuti matahari. Cara semacam ini tidak praktis karena Anda membutuhkan seseorang untuk terus memantau matahari dan mengubah posisi sistem panel surya.

#### **b. *Solar Tracker* Pasif**

Pelacak pasif berisi cairan dengan titik didih rendah yang akan menguap saat terkena radiasi matahari. Ketika cairan menguap, sistem



kemiringan menjadi tidak seimbang. Ketidakseimbangan ini menyebabkan panel surya miring ke arah sinar matahari.

c. *Solar Tracker* Aktif

Pelacak aktif mengandalkan dinamo atau silinder hidrolik untuk mengubah posisi. Motor di pelacak aktif akan menggerakkan panel surya sehingga menghadap matahari. Meskipun ini lebih mudah digunakan daripada pelacak manual, bagian yang bergerak didalam dinamo dapat dengan mudah patah. Hal tersebut dapat menyebabkan biaya perawatan yang lebih tinggi selama masa pakai sistem. Ada beberapa bentuk *solar tracker* aktif, diantaranya *solar tracker single-axis* atau pelacak.

Sumbu satu arah dan *solar tracker dual-axis* atau pelacak sumbu dua arah.

1. Single-axis adalah pelacak sumbu satu arah yang mengikuti posisi matahari saat bergerak dari timur ke barat. Ini biasanya digunakan dalam proyek PLTS skala besar. Pelacak sumbu tunggal dapat meningkatkan produksi antara 25% hingga 35%.
2. Dual –axis adalah *solar tracker* dual sumbu yang tidak hanya melacak matahari saat bergerak dari timur ke barat, tetapi juga mengikutinya saat bergerak dari utara ke selatan. Pelacak dua sumbu lebih banyak digunakan di PLTS perumahan dan komersial kecil yang memiliki ruang terbatas, sehingga dapat menghasilkan daya yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi.

#### **2.4.3. Kelebihan dan Kelemahan *Solar Tracker***

a. Kelebihan *Solar Tracker*

Manfaat atau kelebihan *solar tracker* diantaranya meningkatkan output daya sehingga membantu penghematan energi saat jam sibuk, kelebihan lainnya:

1. Sistem pelacakan membantu meningkatkan keluaran energi yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya dengan arah tetap karena tidak dapat mengikuti pergerakan matahari.
2. Berbagai pelacak yang tersedia dari produsen memungkinkan Anda menemukan unit yang tepat sesuai kebutuhan.
3. Pelacak surya sangat bermanfaat di daerah dengan tarif listrik yang menyesuaikan waktu.
4. penggunaan. Lebih banyak energi akan dapat dihasilkan selama jam sibuk, yang berarti Anda tidak perlu membayar energi jaringan PLN saat jam puncak.

b. Kelemahan *Solar Tracker*

Kelemahan *solar tracker* diantaranya harganya yang mahal dan biaya perawatan yang cukup lumayan jika terjadi kerusakan, kelemahan lain:

1. Pelacak surya sangat mahal dan dapat dengan mudah menggandakan biaya pembangunan PLTS.
2. Pelacak surya terdiri dari bagian yang bergerak, yang berarti lebih cenderung mengalami kerusakan. Hal ini menyebabkan biaya perawatan yang lebih tinggi.
3. Butuh lokasi dan bahan tambahan jika memutuskan untuk memasang pelacak, termasuk menggali parit kabel tambahan dan perataan tambahan.

## 2.5 Aktuator

### 2.5.1. Pengertian Aktuator

Aktuator adalah sebuah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau sistem. Aktuator diaktifkan oleh lengan mekanik yang biasanya digerakkan oleh motor listrik yang dikendalikan oleh pengontrol otomatis yang diprogram di antara mikrokontroler.

Aktuator merupakan elemen yang mengubah kuantitas listrik analog menjadi kuantitas lain seperti kecepatan, dan perangkat elektromagnetik yang

menghasilkan energi kinetik sehingga dapat menghasilkan gerakan dalam robot. Untuk meningkatkan tenaga mekanik aktuator ini dapat dipasang sistem gearbox. Aktor dapat melakukan hal-hal tertentu setelah menerima perintah dari controller.

Sebagai contoh, jika cahaya hadir dalam robot pencarian cahaya, sensor memberikan informasi kepada pengontrol yang kemudian mengontrol bahwa aktuator bergerak ke arah sumber cahaya. Keuntungan dari aktuator adalah dapat menutup dan membuka secara otomatis tanpa kontak manusia.

### 2.5.2. Aktuator Motor Listrik

Dari namanya sudah jelas bahwa aktuator ini menggunakan motor listrik menjadi torsi mekanis. Jadi jelas dibutuhkan listrik untuk memindahkannya. Keuntungan dari aktuator ini adalah memiliki desain yang rapat dan kekakuan yang sangat tinggi. Karena itu, tidak ada pipa untuk suplai tekanan yang perlu dipasang



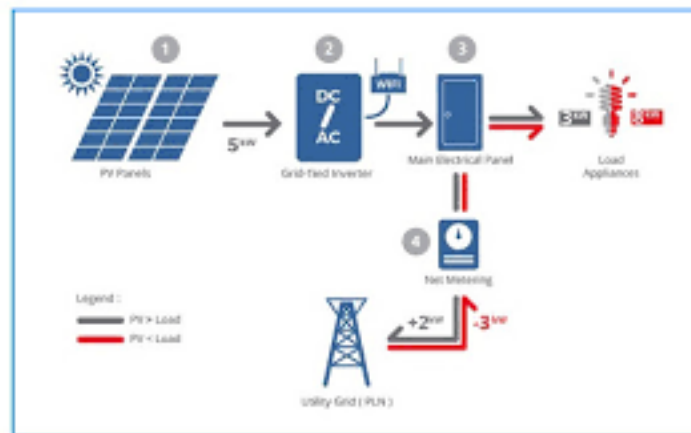
**Gambar 2.3 Aktuator Motor Listrik**

## 2.6 Sistem PLTS

Ada beberapa jenis sistem PLTS, baik untuk sistem yang tersambung ke jaringan listrik PLN (on-grid) maupun sistem PLTS yang berdiri sendiri (*stand alone*) atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (off-grid). Jenis system PLTS on-grid ada PLTS *rooftop* (terpasang di atap) dan PLTS skala utilitas. Sedangkan untuk PLTS off-grid jenisnya ada PLTS tersebar (SHS), PLTS komunal atau terpusat dan PLTS hibrida.

### 2.6.1. PLTS Grid-Connected

Sistem PLTS-Grid Connected pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN) seperti pada blok diagram gambar 3 dibawah. Komponen utama dalam system ini adalah inverter grid atau *Power Conditioning Unit* (PCU). Inverter inilah yang berfungsi mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC sesuai dengan persyaratan dari jaringan listrik yang terhubung (utility grid).

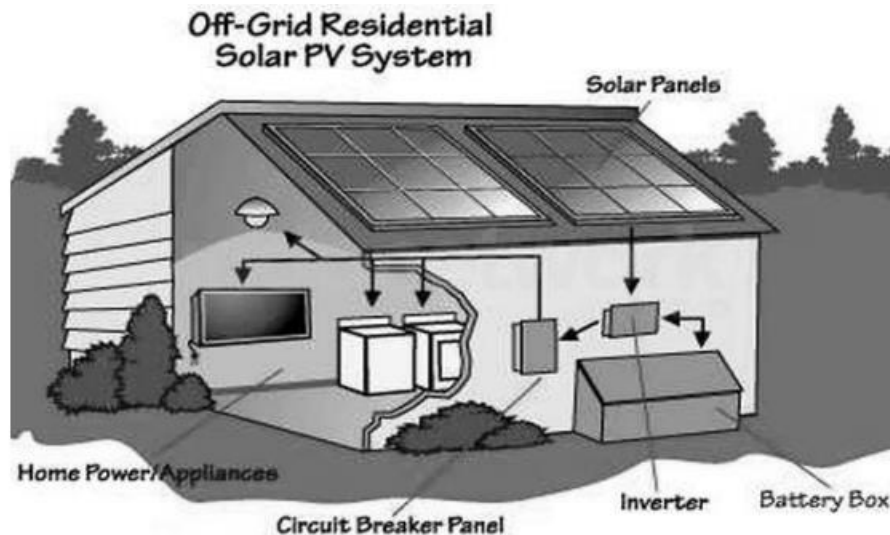


**Gambar 2.4 Diagram Sistem PLTS - Grid Connected**

### 2.6.2. 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 Off Grid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan. 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.



**Gambar 2.5 PLTS Off-Grid**

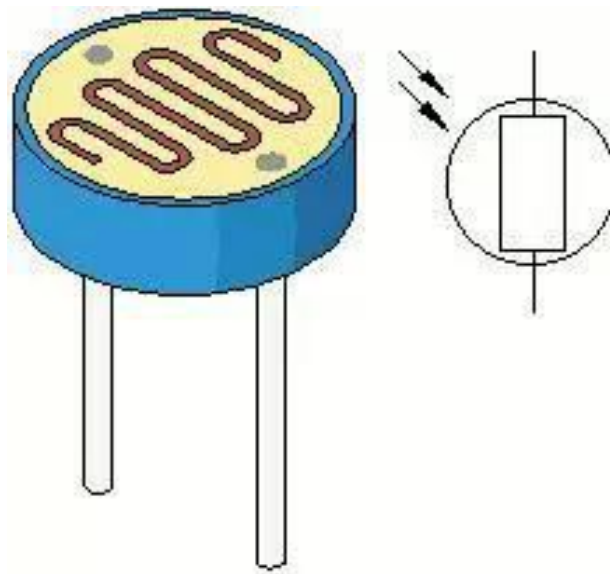
## 2.7 Arduino Uno

Arduino adalah sebuah board mikrokontroller yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *men-support* mikrokontroller; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. Arduino adalah merupakan sebuah *board* minimum sistem mikrokontroler yang bersifat *open source*. Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding *board* mikrokontroler yang lain selain bersifat *open source*, arduino juga mempunyai bahasa pemrogramannya sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu dalam *board* arduino sendiri sudah terdapat *loader* yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika kita memprogram mikrokontroler didalam arduino. Sedangkan pada kebanyakan *board* mikrokontroler yang lain yang masih membutuhkan rangkaian *loader* terpisah untuk memasukkan program ketika kita memprogram mikrokontroler. Port USB tersebut selain untuk *loader* ketika memprogram, bisa juga difungsikan sebagai port komunikasi serial.

## 2.8 Sensor LDR

Sensor adalah alat untuk mendeteksi / mengukur sesuatu yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia menjadi tenaga dan arus listrik. Dalam lingkungan sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya. Sensor dalam teknik pengukuran dan pengaturan secara elektronik berfungsi mengubah besaran fisik menjadi besaran listrik yang proporsional.

Salah satu sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*). LDR adalah salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya apabila mengalami perubahan penerimaan cahaya. Biasanya LDR terbuat dari *cadmium sulfida* yaitu merupakan bahan semikonduktor yang resistansinya berubah-ubah menurut banyaknya cahaya (sinar) yang mengenainya. LDR biasa digunakan sebagai detektor cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya. Bila cahaya gelap nilai tahanannya semakin besar, sedangkan cahayanya terang nilainya akan semakin kecil. Resistansi LDR berubah seiring dengan perubahan intensitas cahaya yang mengenainya. Dalam keadaan gelap resistansi LDR sekitar 10 M dan dalam keadaan terang sebesar 1 K atau kurang. Dengan bahan energi dari cahaya yang jatuh menyebabkan lebih banyak muatan yang dilepas atau arus listrik meningkat. Prinsip kerja LDR adalah pada saat gelap atau cahaya redup, bahan semikonduktor tersebut menghasilkan elektron bebas dengan jumlah relatif kecil, sehingga hanya ada sedikit elektron untuk muatan elektrit. Artinya pada saat cahaya redup, LDR menjadi konduktor yang buruk, atau bisa disebut juga LDR memiliki resistansi yang besar pada saat cahaya gelap atau redup. Pada saat cahaya terang, ada lebih banyak elektron yang lepas dari atom bahan semikonduktor tersebut, sehingga akan lebih banyak elektron untuk mengangkut muatan elektrit. Artinya pada saat cahaya terang, LDR menjadi konduktor yang baik atau bisa disebut juga LDR memiliki resistansi kecil pada saat cahaya terang (Rivanna Nugraha, 2014).



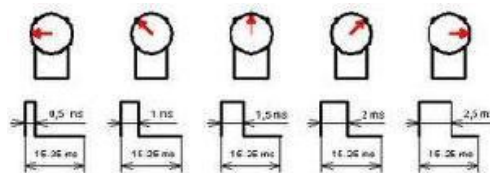
**Gambar 2.6 Simbol dan Fisik Sensor Cahaya**

## 2.9 Motor servo

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan di informasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari motor dc, rangkaian gear, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas dari sudut putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Karena motor DC servo merupakan alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, maka magnet permanen motor dc servolah yang mengubah energi listrik ke dalam energi mekanik melalui interaksi dua medan magnet. Salah satu medan dihasilkan oleh magnet permanen dan yang satunya dihasilkan oleh arus yang mengalir dalam kumparan motor.

Resultan dari dua medan magnet tersebut menghasilkan torsi yang membangkitkan putaran motor tersebut. Saat motor berputar, arus pada kumparan motor menghasilkan torsi yang nilainya konstan. Secara umum terdapat 2 jenis motor servo. Yaitu motor servo standart dan motor servo *continous*. Servo motor tipe standart hanya mampu berputar 180 derajat. Motor servo standart sering

dipakai pada sistem robotika misalnya untuk membuat “*Robot Arm*” (Robot Lengan). Sedangkan servo motor *continous* dapat berputar sebesar 360 derajat, motor servo *continous* sering dipakai untuk *mobile* robot. Untuk dapat mengoperasikan motor ini di perlukan pulsa digital yang akan dibaca oleh kontroler motor servo untuk mengatur sudut servo (*Elektronika Dasar, 2013*). Pengendalian gerakan batang motor servo dapat dilakukan dengan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*). Teknik ini menggunakan sistem lebar pulsa untuk mengendalikan putaran motor. Sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Untuk penelitian ini penulis menggunakan motor servo standart, sudut putar nya adalah 180 derajat yang dapat dioperasikan dalam dua arah (*clock wise/counter clock wise*).



**Gambar 2.7 Lebar Pulsa untuk Mengatur Sudut Servo**



**Gambar 2.8 Konstruksi Motor Servo**

## 2.10 Kapasitas Komponen PLTS

Jumlah Panel Surya yang akan digunakan tergantung pada daya (Wattpeak) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi diperhitungkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut (Nafeh, 2009).



Menghitung Area Array (PV Area)

Area array (*PV Area*) diperhitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PV\ Area = \frac{EL}{Gav \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}} \quad (4)$$

Dimana :  $EL$  = pemakaian energi (kWh/hari)

$Gav$  = isolasi harian matahari rata-rata (kWh/m<sup>2</sup>/hari)

$\eta_{PV}$  = efisiensi panel surya

$\eta_{out}$  = efisiensi inverter

Menghitung daya yang dibangkitkan PLTS (*Wattpeak*) dari perhitungan area array, maka besar-daya yang dibangkitkan PLTS (*Wattpeak*) dapat diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$PWattpeak = Area\ array \times PSI \times \eta_{PV} \quad (5)$$

Dimana :  $PSI$  (*Peak Solar Insolation*) = 1000 W/m<sup>2</sup>

$\eta_{PV}$  = efisiensi panel surya

Selanjutnya berdasarkan daya yang akan dibangkitkan ( $W_{peak}$ ), maka jumlah panel surya yang diperlukan, diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

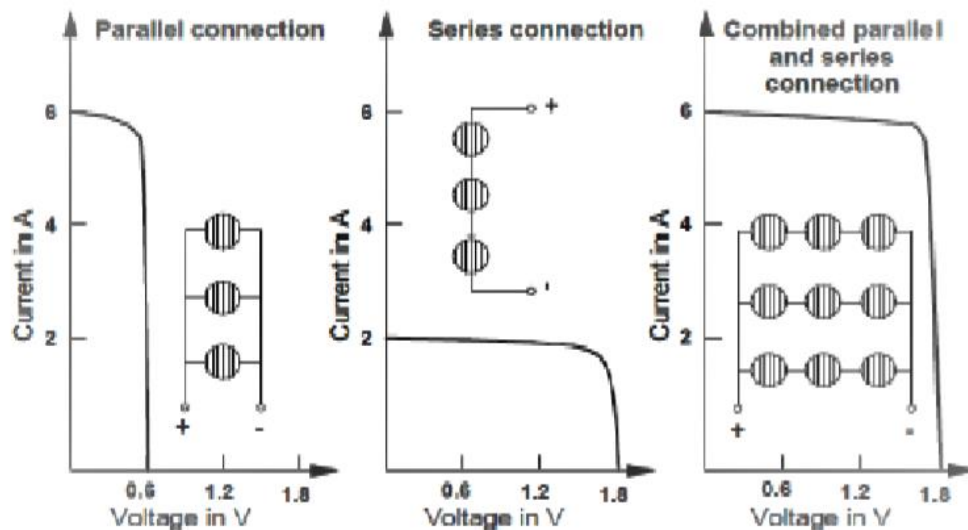
$$Jumlah\ Panel\ Surya = \frac{PWattpeak}{PMPP} \quad (6)$$

Dimana :  $PWattpeak$  = Daya yang dibangkitkan

$PMPP$  = Daya maksimum keluaran panel surya (W)

Untuk memperoleh besar tegangan, arus dan daya yang sesuai dengan kebutuhan, maka panel-panel surya tersebut harus dikombinasikan secara seri dan parallel dengan aturan sebagai berikut :

1. Untuk memperoleh tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan keluaran panel surya, maka dua buah atau lebih panel surya harus dihubungkan secara seri.
2. Untuk memperoleh arus keluaran yang lebih besar dari arus keluaran panel surya, maka dua buah atau lebih panel surya harus dihubungkan secara paralel.
2. Untuk memperoleh daya keluaran yang lebih besar dari daya keluaran panel surya, dengan tegangan yang konstan maka panel-panel surya harus dihubungkan secara seri dan parallel.



**Gambar 2.9 Hubungan Panel Surya**

Kapasitas *charge controller* diperlukan untuk melindungi baterai dari pengosongan dan pengisian berlebih. Masukan dan keluaran untuk charge controller disesuaikan dengan arus (IMPP) keluaran array dan tegangan baterai,  $V_B$ .

2. 5. 4. Kapasitas Baterai Besar kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi konsumsi energi harian menurut Lynn (2010), dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$c = N \times Ed \times Vs \times DOD \times \eta \quad (7)$$

Dimana : C = Kapasitas baterai (Ah)

N = Hari-hari otomatis (hari)

Ed = Konsumsi energi listrik

Vs = Tegangan baterai (volt)

DOD = Kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai

$\eta$  = Efisiensi baterai x efisiensi inverter.

Kapasitas inverter pada pemilihan inverter, diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani. Hal ini agar efisiensi kerja inverter menjadi maksimal.