

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

Berbagai penelitian terkait dengan penggunaan sel surya telah banyak dilakukan. Hal ini disebabkan karena penggunaannya yang merupakan bentuk alternative guna mengurangi permintaan energy pada PLN serta optimalisasi potensi alam sehingga sangat bermanfaat untuk mengurangi penggunaan energy fosil yang saat ini sudah semakin menipis. Oleh sebab itu, beberapa penelitian sebelumnya yang dijadikan acuan dalam penelitian ini di antaranya adalah sebagai berikut.

Yuan *et all*(2018) melakukan perencanaan PLTS on grid sebesar 5500 Watt dengan memanfaatkan atap rumah kost Akademi yang terletak di kota Banjarmasin yang menyewakan sebanyak 27 kamar untuk mahasiswa maupun karyawan .rumah ini mempunyai 2 lantai dan mempunyai luas atap sekitar 200m<sup>2</sup>.pada penelitian ini peralatan yang digunakan untuk PLTS on grid adalah panel surya 200 Wp sebanyak 28 panel, inverter, dan kwh meter exim. Analisa yang didapat untuk power output dari panel surya(import ke PLN) rata-rata sebesar 738.6 kWh/bulan.

Naim *et all* (2017) merancang sistem kelistrikan PLTS On Grid Backup Battery dengan kapasitas 1500 Watt di Desa Timampu kecamatan Towuti . PLTS On Grid dengan Backup Battery merupakan sistem kelistrikan yang terintegrasi dengan jaringan PLN sehingga energy listrik dari jaringan PLN tetap menjadi pemasok utamakemudian PLTS sebagai tambahan. Sementara itu battery diharapkan sebagai sumber energy cadangan jika terjadi kondisi gangguan ataupun mendesak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peralatan yang dibutuhkan untuk mendukung sistem kelistrikan, PLTS On Grid 1500 Watt dengan Backup Battery adalah 6 buah photovoltaic berkapasitas 250 Wp, solar charge controller jenis MPPT berkapasitas 1500 Watt. Aki basah 2x 100 Ah dan 2x60 Ah dengan tegangan 24 volt dan

kapasitas 160 Ah, inverter jenis Pure Wave Sine Wave dengan tegangan 24 volt dan kapasitas 160 Ah, inverter jenis pure sine wave dengan kapasitas 1500 Watt dan KWH meter jenis piringan dengan 2 arah putaran.

Abdul *et al*(2018) melakukan pengujian terhadap kinerja Automatic Transfer Switch sebagai sistem kelistrikan hybrid sel surya pada rumah tangga . Kinerja dari ATS adalah saat akumulator full charger dari panel surya, kemudian akumulator menghidupkan inverter dan ATS berpindah ke penggunaan inverter. Setelah pemakaian akumulator melemah ke tegangan 10 volt, maka ATS berpindah ke PLN dan inverter keadaan off. Hasil dari perhitungan kapasitas beban dan analisis mengarah pada kesimpulan bahwa arus saat berbeban lampu LED 200W adalah sebesar 921.7 Ma menggunakan sumber PLN sedangkan menggunakan sumber inverter arus saat berbeban lampu LED 200W sebesar 1360 Ma.

Andrew *et al*(2017) meneliti tentang perancangan sistem kelistrikan hybrid (tenaga matahari dan listrik PLN) untuk menggerakkan pompa air 1 phase , sistem hybrid yang direncanakan menggunakan peripheral solar panel 100 WP (2 buah), baterai 100 Ah 12 V (2 buah), sistem controller hybrid dengan inverter 1400 watt. Aplikasi yang dirancang untuk menggerakkan pompa air sumur dalam (submersible) 1 phase diameter 3 inci yang membutuhkan daya 370 watt. Dengan menggunakan sistem yang dirancang didapat suatu aplikasi sistem kelistrikan untuk menggerakkan pompa tersebut dengan hasil pengukuran kerugian energy listrik 1,78%-2,03% pada pemakaian daya 417-441 watt diukur selama 4 jam, dengan hasil penyedotan air 14.400 liter per 4 jam atau 1 liter per detik.

## 2.2 Landasan Teori

Berikut landasan teori yang digunakan dalam mendukung proses penyelesaian tugas akhir ini.

### 2.2.1 Sel surya

Sel surya atau sel photovoltaic merupakan lapisan tipis semikonduktor silicon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. Sistem photovoltaic inilah yang merubah energy elektromagnetik dari matahari menjadi energy listrik. Photovoltaic berasal dari dua kata dari bahasa inggris yaitu “photo” dan “volt”, photo berarti cahaya dan volt satuan pengukuran tegangan dalam listrik. Sel surya merupakan devais semikonduktor dengan permukaan yang luas terdiri dari rangkaian diode tipe “p” dan “n”, dengan memiliki kemampuan untuk merubah energy matahari menjadi energy listrik. Kerja dari sel surya ini sangat bergantung terhadap efek fotovoltaiik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan yang berlawanan.

Sel surya menghasilkan energy listrik DC yang kemudian akan diubah menjadi energy listrik AC menggunakan inverter jika dibutuhkan. Sel surya akan selalu menghasilkan energy listrik selama masih ada cahaya matahari walaupun dalam kondisi mendung sekalipun. Energy listrik yang dapat dibangkitkan oleh sel surya tunggal sangatlah kecil sehingga dibutuhkan gabungan dari beberapa panel surya menjadi sebuah komponen yang disebut panel surya atau solar module. Oleh karena itu dengan menggabungkan beberapa sel surya menjadi satu komponen yang disebut solar array, manfaat dari solar array ini adalah untuk meningkatkan energy listrik dari panel surya.

Perbedaan utama dari panel sel surya adalah bahan produksi dari sel surya. Bahan sel surya yang paling umum adalah crystalline silicon. Bahan crystalline dapat terdiri dari monocrystalline dan polycrystalline.

1. Polycrystalline berwarna kebiruandengan bercak-bercak biru muda dan biru tua. Jenis ini yang paling banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya secara kecil. Efisiensinya yaitu sekitar angka belasan persen.

2. Monocrystalline, mempunyai efisiensi lebih baik lagi tetapi harganya juga relative lebih mahal. Jenis ini dapat dikenali dengan warnanya yang kebiruan polos tanpa bercak.
3. Selain itu panel sel surya ada yang terbuat dari lapisan tipis amorphous silicon, berwarna agak gelap kehitaman dan umum digunakan pada perangkat dengan konsumsi daya sangat rendah seperti kalkulator. Efisiensi dari jenis ini paling rendah yaitu sekitar 3-5%. Sel Crystalline silicon mempunyai 2 tipe yang hampir serupa, meskipun sel single crystalline lebih efisien dibandingkan dengan poly-crystalline karena polycrystalline merupakan ikatan antara sel-sel. Keunggulan dari amorphous silicon adalah harga yang terjangkau tetapi tidak seefisien crystalline silicon sel surya.

#### 2.2.2 Efek fotovoltaiik

Energy radiasi surya dapat diubah menjadi arus listrik searah dengan menggunakan lapisan-lapisan tipis dari silicon(Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya. Pada saat ini silicon merupakan bahan yang terbanyak dipakai. Silicon merupakan unsur yang banyak terdapat di alam. Untuk keperluan pemakaian sebagai semikonduktor, silicon harus dimurnikan hingga suatu tingkat pemurnian yang tinggi sekali.

Pada suhu nol absolute (0K) semua ikatan kovalensi berada dalam keadaan utuh dan lengkap. Bilamana suhu naik, atom-atom akan mengalami keadaan getaran thermal. Getaran-getaran ini yang meningkat dengan suhu, pada suatu saat dapat mengganggu beberapa ikatan kovalensi.

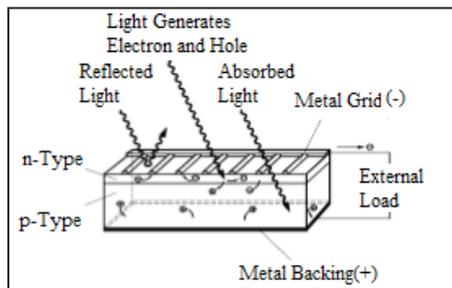
Terganggunya ikatan kovalensi dalam Kristal semikonduktor pada suhu lingkungan biasa mempunyai beberapa akibat besar terhadap sifat-sifat listrik Kristal itu.

##### 1. Prinsip Kerja Fotovoltaiik

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

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

Pada saat terjadi tumbukan, energy yang dikandung oleh photon ditransfer pada electron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor. Dengan energi yang didapat dari photon, electron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada. Dengan melepaskan dari ikatannya, electron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau “*hole*” seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 .



**Gambar 2.1** Konversi cahaya matahari  
(Sumber: *Dian Furqani, (2015)*)

Secara umum, konstruksi sebuah fotovoltaik terdiri dari 3 bagian, yaitu :

- a) Lapisan penerima radiasi
- b) Lapisan tempat terjadinya pemisahan muatan akibat fotoinduksi
- c) Lapisan kontaktor

## 2. Efisiensi Fotovoltaik

Untuk mengukur kinerja dari sel surya apakah sel surya tersebut bekerja dengan baik atau tidak, serta mengetahui kualitas dari sel surya tersebut tergantung dari tingkat efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya itu sendiri. Sel surya yang memiliki efisiensi yang baik dapat diketahui dari daya yang dihasilkan akan maksimal dengan rugi-rugi yang kecil, indicator tersebutlah yang mengkategorikan sel surya baik atau tidak.

Efisiensi pada sel surya tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa factor. Antara lain, luas kolektor sel surya ( $Ac$ ), Insolasi matahari ( $I$ ), dan daya kolektor yang dimiliki oleh sel surya. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$n_p = \frac{(IV)_{max}}{I Ac} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana,  $n_p$  = Efisiensi fotovoltaik

$(IV)_{max}$  = Daya kolektor maksimum (W)

$I$  = Insolasi matahari (W/m<sup>2</sup>)

$Ac$  = Luas kolektor fotovoltaik (m<sup>2</sup>)

Tingkat efisiensi sebuah sel surya sangat bergantung pada nilai Peak Sun Hour (PSH).PSH sangat subyektif yang dipengaruhi pada karakteristik lingkungan dan termasuk lamanya sinar matahari dalam menyinari sel surya dan indeks kecerahan pada tempat tersebut.

### 2.2.3 Proses Terbentuknya Listrik

Proses terbentuknya listrik yang berasal dari cahaya matahari yang menggunakan sel surya ini yang dimungkinkan yang disebabkan karena bahan penyusun photovoltaic sendiri yaitu bahan semikonduktor. Semikonduktor yang menyusun sel surya terdiri dari dua jenis semikonduktor, yaitu semikonduktor jenis negative dan positif. Semikonduktor jenis negative ini adalah jenis semikonduktor yang mempunyai elektro berlebih yang disebut juga dengan n=negative karena mutan negative yang terlalu banyak atau berlebih. Sedangkan, semikonduktor jenis positif adalah jenis semikonduktor yang terdapat

kelebihan hole atau yang disebut juga dengan p=positif karena muatan positif yang terlalu banyak atau berlebih.

Pada awalnya, dua jenis semikonduktor yang dibuat ini mempunyai jumlah dan keunggulan yang sama yaitu dapat menaikkan tingkatan kemampuan daya hantar listrik dan panas dari semikonduktor alami ini. Dan apabila dua jenis semikonduktor dihubungkan menjadi satu, maka akan terbentuk hubungan atau sambungan yang disebut diode p-n atau dapat disebut juga sebagai sambungan metalurgi (*metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut. Sebagaimana terlihat pada gambar 2.2-2.8.

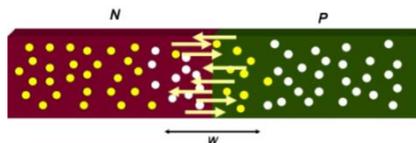
- a) Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung seperti gambar 2.2 dibawah ini .



**Gambar 2.2** Semikonduktor P dan N sebelum disambung

(Sumber: *Wibowo dan Adhi,(2008)*)

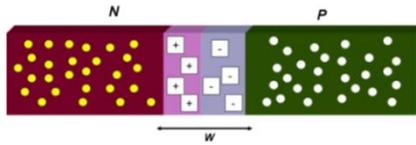
- b) Setelah dilakukannya penyambungan antara semikonduktor jenis p dan n, maka akan terjadi dua perpindahan yaitu perpindahan elektron yang bergerak bebas dari semikonduktor jenis negative ke arah semikonduktor jenis positif dan pindahanya hole dari semikonduktor jenis positif ke semikonduktor jenis negative seperti pada gambar 2.3 dibawah .



**Gambar 2.3** Pergerakan elektron dan hole setelah disambung dalam semikonduktor

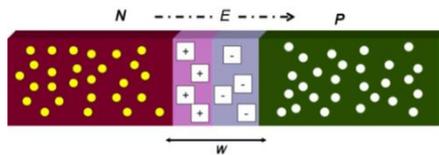
(Sumber: *Wibowoda Adhi,( 2008)*)

- c) Setelah terjadi dua perpindahan tersebut, maka akan menyebabkan semikonduktor jenis n lebih bermuatan positif dan semikonduktor jenis p akan lebih bermuatan negative. Hal tersebut dikarenakan baik kapasitas dari hole maupun elektro menjadi berkurang dengan adanya perpindahan tersebut.
- d) Daerah negative dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) yang tertera pada gambar 2.4 dengan simbol huruf W.



**Gambar 2.4** Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor  
(Sumber: Wibowo dan Adhi,(2008))

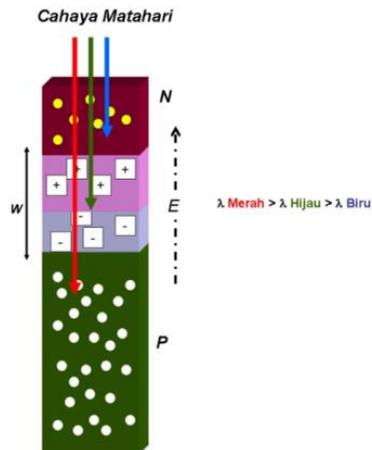
- e) Perpindahan dua jenis semikonduktor ini menyebabkan adanya perbedaan antara muatan positif dan negative di daerah depresi, kemudian perbedaan tersebut akan menimbulkan adanya listrik dari sisi positif ke sisi negative. Timbulnya energy listrik ini akan mencoba menarik kembali baik electron maupun hole ke tempat muatan tersebut berasal. Hal tersebut dikarenakan energy listrik cenderung berlawanan dengan adanya perpindahan yang di daerah depresi.



**Gambar 2.5** Timbulnya listrik internal E  
(Sumber: Wibowo dan Adhi,(2008))

- f) Timbulnya medan listrik pada gambar 2.5 diatas akan membuat sambungan p-n menjadi setimbang karena kapasitas hole yang bergerak dari semikonduktor p ke n akan tertarik kembali ke semikonduktor p. begitu juga dengan kapasitas electron yang

bergerak dari semikonduktor n ke p akan tertarik kembali ke semikonduktor n. dengan demikian, proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi pada sambungan p-n. untuk menangkap cahaya matahari, maka posisi semikonduktor jenis n berada diatas lapisan semikonduktor jenis p dan menghadap ke radiasi matahari. Untuk itu, semikonduktor jenis n dibuat jauh lebih tipis dengan tujuan agar radiasi matahari yang tertangkap ke bidang permukaan photovoltaic dapat diserap yang kemudian masuk menuju daerah depresi dan semikonduktor jenis positif seperti pada gambar 2.6 dibawah ini.

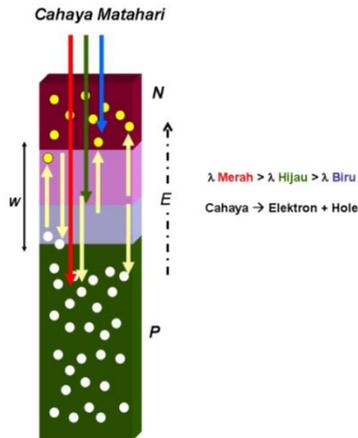


**Gambar 2.6** Posisi sambungan semikonduktor dalam penangkapan cahaya matahari

(Sumber: *Wibowo dan Adhi, (2008)*)

- g) Pada saat hubungan semikonduktor ini menangkap radiasi matahari, maka electron yang berada pada semikonduktor jenis n ini akan mendapatkan energy dari cahaya matahari. Setelah electron ini mendapat energy, maka electron dapat bergerak bebas dari semikonduktor n, daerah depresi maupun semikonduktor p. Bergeraknya electron ini akan menyebabkan hole tertinggal di tempat yang ditinggalkan oleh electron. Kejadian ini disebut dengan fotogenerasi electron hole. Fotogenerasi electron hole ini akan

membentuk pasangan electron dan hole yang diakibatkan karena terkenanya radiasi matahari.



**Gambar 2.7** Sambungan semikonduktor setelah ditembus cahaya matahari

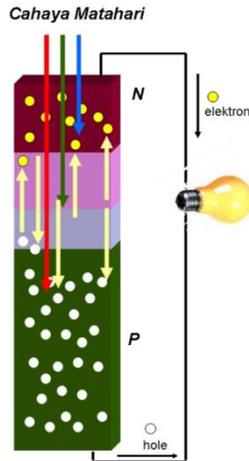
(Sumber: *Wibowo dan Adhi, (2008)*)

Cahaya matahari yang menembus sambungan semikonduktor ini memiliki spectrum warna dan panjang gelombang (dilambangkan dengan symbol “lamda” yang dapat dilihat pada gambar 2.7 diatas) yang berbeda-beda. Cahaya matahari yang spectrum warnanya merah, akan mempunyai bentuk lamda yang lebih panjang, sehingga mampu menembus didaerah semikonduktor p yang akan membentuk fotogenerasi disana. Sedangkan, cahaya matahari yang spektrumnya berwarna biru memiliki panjang gelombang lebih pendek yaitu hanya diserap di semikonduktor n. adanya perbedaan panjang gelombang ini akan membuat fotogenerasi pada sambungan p-n menjadi berbeda pula.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, electron hasil fotogenerasi tertarik kea rah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik kea rah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka electron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala

dikarenakanmendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan electron seperti gambar 2.8 dibawah ini.



**Gambar 2.8** Pergerakan electron yang mengalir melalui kabel setelah dihubungkan beban

(Sumber: *Wibowo dan Adhi.,(2008)*)

#### 2.2.4 Parameter Sel Surya

Dalam masa operasi maksimal sel surya juga dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu diantaranya :

##### 1. Ambient air temperature (suhu)

Photovoltaic dapat bekerja maksimal apabila suhunya masih berada pada batas normal yaitu 25 derajat celcius. Namun apabila suhunya lebih besar dari suhu normal, maka akan menurunkan nilai tegangan yang diproduksi karena setiap kenaikan suhu sebesar 1 derajat celcius dari 25 derajat, maka akan mengurangi nilai tegangan berkisar 0.4% dari keseluruhan energy yang diproduksi atau akan menurun 2 kali lipat yang digunakan untuk menaikkan suhunya setiap 10 derajat celcius.

## 2. Radiasi matahari

Radiasi matahari yang tertangkap di bumi dan berbagai lokasi bervariasi akan sangat tergantung terhadap kondisi spectrum cahaya matahari yang tertangkap di bumi. Intensitas radiasi matahari akan sangat berpengaruh terhadap arus dan sedikit pada tegangan yaitu apabila nilai intensitas radiasi matahari yang diserap oleh photovoltaic semakin rendah, maka arusnya pun akan semakin rendah pula. Dengan hal tersebut dapat menentukan titik Maximum Power Point dalam kondisi yang berada pada titik yang semakin rendah juga.

## 3. Kecepatan tiupan angin

Kecepatan angin bertiup adalah parameter photovoltaic yang dapat membantu menurunkan suhu bidang permukaan photovoltaic yang berada disekitarnya.

## 4. Kondisi atmosfer bumi

Kondisi atmosfer bumi ini seperti mendung, berawan, polusi, kabut, uap air udara, dan jenis partikel debu udara lainnya akan sangat mempengaruhi sel surya dalam penentuan hasil maksimal arus listriknya.

## 5. Orientasi sel surya (array)

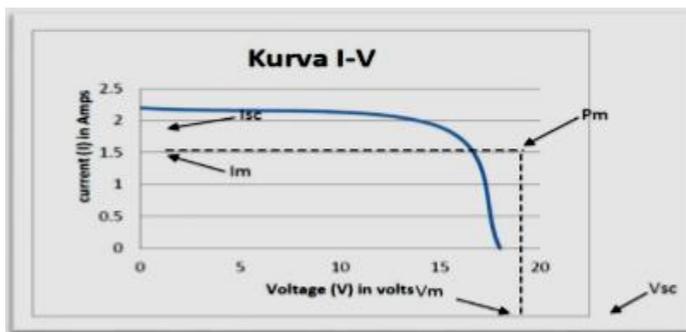
Orientasi sel surya sangatlah penting karena dari photovoltaic (array) yang dirangkai menghadap ke arah datangnya cahaya matahari secara optimal dapat membuat sel surya menghasilkan energy yang maksimal. Dan apabila bidang sel surya tidak dapat mempertahankan ketegak lurusannya dengan cahaya matahari, maka diperlukan penambahan luas pada bidang panel surya karena perlu diketahui bahwa

bidang panel surya terhadap sinar matahari akan berubah setiap jamnya dalam sehari.

### 2.2.5 Performansi Panel Sel Surya

Total pengeluaran listrik (wattage) dari panel sel surya adalah sebanding dengan voltase/tengangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. Panel sel surya dapat menghasilkan arus dari voltase yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus dari voltase yang relative konstan.

Karakteristik keluaran/output dari panel sel surya dapat dilihat dari kurva performansi, disebut I-V kurva. I-V kurva menunjukkan hubungan antara arus dan voltase.



**Gambar 2.9** Kurva arus dan tegangan

(Sumber: *Wulandari, Triyas Ika, (2010)*)

Gambar 2.9 diatas menunjukkan tipikal kurva I-V. Voltase (V) adalah sumbu horizontal Arus (I) adalah sumbu vertical. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam Standar Test Conditions (STC) 1000 watt per meter persegi radiasi (atau disebut satu matahari puncak/one peak sun hour) dan 25 derajat celcius/77 derajat Fahrenheit suhu solar cell panel.

Kurva I-V terdiri dari 3 hal yang penting :

1. Maximum Power Point ( $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ )

Pada kurva I-V, Maximum Power Point ( $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ ) adalah titik operasi, dimana maksimum pengeluaran/output yang dihasilkan oleh panel sel surya saat kondisi operasional. Dengan kata lain,  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$  dapat diukur pada saat panel sel surya diberi beban pada 25 derajat celsius dan radiasi 1000 watt per meter persegi. Pada kurva diatas voltase 17 volts adalah  $V_{mp}$ , dan  $I_{mp}$  adalah 2,5 Ampere. Jumlah watt pada batas maksimum ditentukan dengan mengalikan  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ , maksimum jumlah watt pada STC adalah 43 watt.

2. Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )

Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ ) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (current). Pada kurva I-V,  $V_{oc}$  adalah 21 volt. Daya pada  $V_{oc}$  adalah 0 watt.

$V_{oc}$  panel surya dapat diukur dilapangan dalam berbagai macam keadaan. Saat membeli modul, sangat direkomendasikan untuk menguji voltase untuk mengetahui apakah cocok dengan spesifikasi pabrik. Saat menguji voltase dengan multimeter digital dari terminal positif ke terminal negative. Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ ) dapat diukur pada pagi hari dan sore hari.

3. Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )

Short Circuit Current ( $I_{sc}$ ) adalah maksimum output arus dari panel sel surya yang dapat dikeluarkan (output) di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau hubung pendek. Pada kurva I-V diatas menunjukkan perkiraan 2,65 Ampere. Daya pada  $I_{sc}$  adalah 0 watt. Short circuit

current dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung terminal positif dan negative dari panel surya.

#### 2.2.6 Perhitungan Teknis

Daya yang dihasilkan panel surya maksimum diukur dengan besaran Wattpeak(Wp), yang konversinya terhadap Watthour tergantung intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan panel. Selanjutnya daya yang dikeluarkan oleh panel surya adalah daya panel dikalikan lama penyinaran.

Misalnya sebuah panel surya berkapasitas 50 Wattpeak disinari matahari dengan intensitas maksimum selama 8 jam maka daya yang dihasilkan adalah 50 kali 8 Watthour atau 400 Watthour. Daya sebanyak ini dapat digunakan untuk menyalakan 4 buah lampu 25 Watt selama 4 jam atau sebuah televisi hitam putih 40 Watt selama 10 jam.

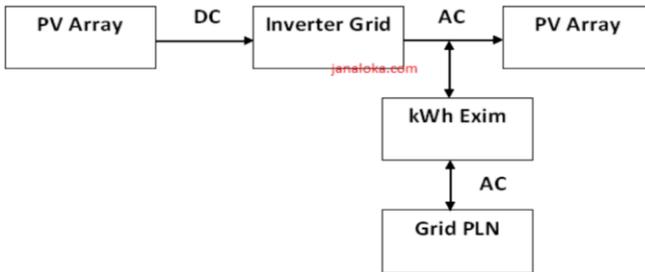
#### 2.2.7 Pembagian Sistem PLTS

Ada beberapa jenis sistem PLTS, baik untuk sistem yang terhubung ke jaringan listrik PLN (on-grid) maupun sistem PLTS yang berdiri sendiri (stand alone) atau tidak terhubung ke jaringan listrik PLN (off-grid). Jenis sistem 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.

##### 1. PLTS Grid Connected

Sistem PLTS-Grid Connected pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN) seperti pada blok diagram gambar 2.10 dibawah. Komponen utama dalam sistem ini adalah inverter grid atau Power Conditiong Unit (PCU). Inverter inilah

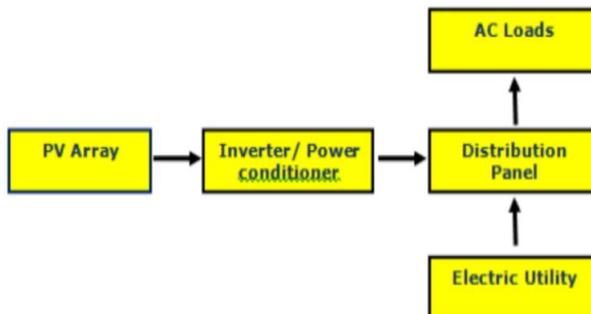
yang berfungsi mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC sesuai dengan persyaratan dari jaringan listrik yang terhubung (utility grid).



Gambar 2.10 Diagram sistem PLTS-Grid Connected

(Sumber: *Emilia Roza*, (2019))

Apabila penggabungan PLTS dengan jaringan listrik (PLN), dilakukan pada sisi konsumen (setelah kWh meter) maka diagram sistemnya dapat dilihat pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11 Diagram sistem hibrida PLTS

(Sumber: *Emilia Roza*, (2019))

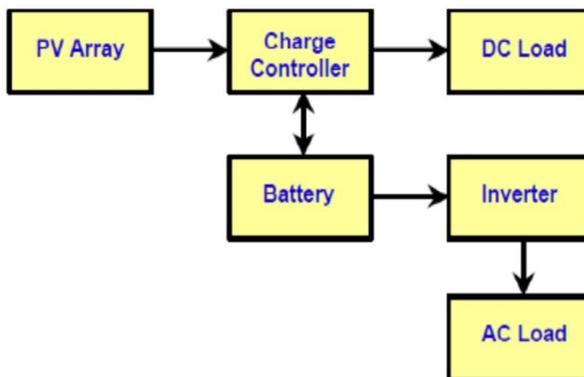
Salah satu persyaratan wajib adalah sistem PLTS harus memiliki anti islanding, yaitu kemampuan otomatis sistem untuk ikut terputus (mati) ketika sumber koneksi PLN putus. Hal ini penting untuk menjaga keamanan dan keselamatan pengguna dalam jaringan yang tidak dialiri listrik PLN tersebut.

Untuk penggunaan klasifikasi jenis PLTS berdasarkan konfigurasi komponen koneksi ke PLN, ada 2 jenis aplikasi yang dapat digunakan, yaitu :

- A. Paralel; dimana produksi daya PLTS hanya digunakan untuk konsumsi pengguna, tanpa ada transfer pengiriman daya PLTS tersebut ke jaringan luar. Penggunaan untuk rumah, bisnis dan industry diperbolehkan, dengan izin dari pihak PLN.
- B. Exim; dimana produksi daya PLTS di transfer ke jaringan luar dan secara bersamaan dapat digunakan untuk konsumsi pengguna. Pada jenis ini, ada 2 metode yang berlaku :
  - a) Net metering; dimana daya yang diproduksi (jual) dan konsumsi (beli) dapat ditukar dalam bentuk daya kWh. Indonesia telah melegalkan dan mengatur kegiatan ini, baik untuk rumah tangga, bisnis, ataupun industry.
  - b) Feed metering; dimana daya yang diproduksi (jual) dan konsumsi (beli) dapat ditukar dalam bentuk uang. Indonesia belum sepenuhnya mengatur hal ini, terutama untuk rumah tangga dan bisnis, namun untuk skala besar, seperti IPP, telah diatur kebijakan dan peraturannya.

## 2. PLTS Off Grid (Stand Alone)

PLTS off-grid atau PLTS berdiri sendiri (stand-alone), beroperasi tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Energy listrik yang dihasilkan di siang hari akan disimpan dalam baterai sebelum digunakan. Ada dua konfigurasi sistem PLTS off-grid yang umum digunakan, yaitu sistem penyambungan AC atau AC-Coupling dan penyambungan DC atau DC-Coupling. Sistem AC-coupling menghubungkan rangkaian modul surya dan baterai ke sisi AC melalui inverter jaringan dan inverter baterai. Jika ada kelebihan daya akan dikonversi kembali ke DC oleh inverter baterai dan energy akan disimpan dalam baterai. Sistem DC-coupling menghubungkan rangkaian modul fotovoltaik ke sisi DC sistem PLTS melalui solar charge controller. Gambar 2.12 dibawah menunjukkan diagram dari PLTS yang berdiri sendiri.



Gambar 2.12 Diagram PLTS yang berdiri sendiri

(Sumber: Emilia Roza, (2019))

Daya DC yang dihasilkan oleh panel surya sistem pembangkit dikirim ke alat kontrol SCC (solar charge controller) untuk melakukan pengisian daya ke baterai dan atau melayani beban DC. Alat kontrol SCC ini juga mengatur dan mengamankan kelebihan pengisian pada saat baterai sudah penuh.

Untuk memenuhi kebutuhan DC daya digunakan langsung dari baterai yang telah diisi oleh panel surya, dengan rangkaian melalui alat kontrol (SCC). Hal ini berfungsi untuk mengatur dan mengamankan penggunaan daya berlebih ketika kapasitas baterai sudah tidak mencukupi.

Untuk memenuhi daya AC, dapat menggunakan inverter menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik AC (sama seperti listrik PLN), seperti lampu penerangan, pompa air bahkan televisi dan kulkas.

#### 2.2.8 Modul/Panel Surya

Modul/panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Dengan menambah modul /panel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil tertentu pula. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari.

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 disebelah utara khatulistiwa maka modul surya harus dihadapkan ke selatan, dan sebaliknya.

Misalnya sebuah panel surya mempunyai spesifikasi 50 Wp(Watt peak) ini berarti daya yang dapat dihasilkan sebesar 50 watt saat intensitas cahaya optimal. Jika lama penyinaran optimal di Indonesia 5 jam maka hasil daya yang dapat dihasilkan :

$$50 \times 5 \text{ jam} = 250 \text{ Watt}$$

#### 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 parallel, 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 Ampere, kemudian ketiganya dihubungkan secara parallel maka akan didapatkan arus listrik total sebesar 9 Ampere sedangkan tegangan totalnya akan sama dengan tegangan masing-masing modul surya yaitu 15 Volt.

#### 2. Rangkaian Modul Surya Secara Seri

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

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 sam adengan masing-masing arus setiap modul yaitu 3 Ampere.

### 2.2.9 Inverter

Inverter adalah suatu komponen sistem PLTS yang digunakan untuk mengkonversikan arus DC dari panel surya atau baterai menjadi arus AC. Tegangan keluaran yang dihasilkan setelah dilakukannya konversi melalui inverter ini dapat bernilai tetap atau berubah-ubah sesuai kebutuhan. Bentuk gelombang keluaran dari inverter idealnya gelombang sinus. Tetapi pada kenyataannya tidak demikian karena adanya harmonisa. Inverter dibagi menjadi 2 macam yaitu, inverter satu fase dan inverter tiga fase. Dan menurut jenis gelombangnya ada tiga jenis inverter yang ada dipasaran yakni inverter gelombang sinus, gelombang sinus termodifikasi, dan inverter gelombang kotak. Berikut formula untuk menghitung kapasitas inverter (Rashid,1993) :

$$P_{inverter} = P_{max} \times 125\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

$P_{inverter}$  = daya inverter (Watt)

$P_{max}$  = beban puncak(Watt)

125% = kompensasi

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 energy yang dihasilkan oleh modul surya.

Ada beberapa komponen yang perlu diketahui dan komponen-komponen tersebut berada di rangkaian inverter. Berikut komponen-komponen yang dimaksud :

#### 1. Baterai

Baterai disini berfungsi sebagai sumber tegangan yang berarus tipe DC(Direct Current). Arus tersebut nantinya akan berakhir dari motor listrik.

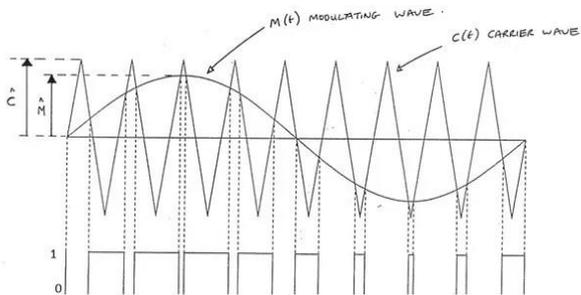
#### 2. Komparator

Komparator secara umum berfungsi membandingkan dua nilai kemudian memberikan hasil dari perbandingan tersebut. Komparator disini berfungsi untuk membandingkan triangular waves (carrier waves) dan sine waves (modulating waves). Untuk mengetahui output dari komparator, perlu diketahui terlebih dahulu rumusan yang digunakan. Rumusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{sine}} > V_{\text{tria}}, 1$$

$$V_{\text{sine}} < V_{\text{tria}}, 0$$

Artinya jika nilai sine waves lebih besar dibandingkan daripada nilai-nilai triangle waves, maka nilainya adalah 1. Begitu pun sebaliknya. Untuk mempermudah dalam mengerti, dapat dilihat gambar 2.10 perbandingan triangular waves dan sine waves.



**Gambar 2.13** Perbandingan triangular waves dan sine waves

(Sumber: *Fajri chair*, (2008))

### 3. Transistor MOSFET

Transistor MOSFET (Metal Oxide FET) memiliki tiga kutub, yaitu drain, source, dan gate. Dibagian gate terisolasi oleh suatu bahan oksida. Transistor MOSFET disini berfungsi sebagai saklar elektronik karena tidak memungkinkan menggunakan saklar mekanik.

#### 2.2.10 Daya Listrik

Daya listrik merupakan energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Pada sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan Watt, dimana merupakan perkalian dari Tegangan (volt) dan arus (ampere). Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan :

$$P = V \times I$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \text{Cos } \varphi$$

### 2.2.11 Daya Aktif P (kW)

Daya aktif (Active Power) adalah daya yang dipakai untuk melakukan energi sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt. Adapun persamaan daya aktif adalah sebagai berikut :

$$\text{Untuk satu phasa (P)} = V.I \cos \varphi \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Untuk tiga phasa (P)} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

### 2.2.12 Daya Reaktif Q (kvar)

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 dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah Var. Adapun persamaan daya reaktif sebagai berikut :

$$\text{Untuk satu phasa Q} = V \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Untuk tiga phasa Q} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots(2.6)$$

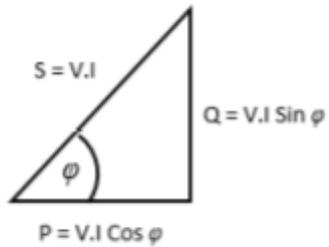
### 2.2.13 Daya Semu (Apparent Power)

adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Satuan daya semu adalah VA. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut :

$$\text{Untuk satu phasa S} = V \cdot I \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Untuk tiga phasa S} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(2.8)$$

Gambar 2.14 dibawah ini menunjukkan hubungan antara daya aktif , daya reaktif dan daya semu :



**Gambar 2.14** Penjumlahan Trigonometri Daya Aktif, Reaktif, Semu  
(Sumber: *Electrical installation guide* ,(2017))