



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Teori Dasar Solar Cell

Sel Surya atau Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic. Yang dimaksud dengan Efek Photovoltaic adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Oleh karena itu, Sel Surya atau Solar Cell sering disebut juga dengan Sel Photovoltaic (PV). Efek Photovoltaic ini ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839. Photo merujuk kepada cahaya dan voltaic merujuk kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi radian matahari. Photovoltaic cell dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka elektron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan.

Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi energi listrik sebanyak-banyaknya dan dapat digabung secara seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan seperti yang dinyatakan oleh Chenni et. al. Cahaya merupakan bentuk lain dari energi yang terpancar dari matahari. Dapat diketahui bahwa tanpa cahaya matahari manusia tidak bisa melihat. Masyarakat menggunakan cahaya matahari untuk menjalankan kegiatan sehari-hari; ini merupakan pemakaian langsung atas cahaya yang berasal dari matahari. Ada hal yang menarik, cahaya juga bisa dikonversi menjadi tenaga listrik dengan menggunakan modul fotovoltaik yang disebut dengan modul PV atau panel surya.

Orientasi peralatan yang digunakan untuk mengkonversi atau menyerap energi dari matahari yaitu panel surya. Jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh modul PV bergantung kepada tenaga surya yang tersedia, dan yang sangat



khususnya, bergantung kepada arah modul surya terhadap matahari. Jika modul surya dipasang di selatan ekuator, maka harus menghadap utara dan sebaliknya. Modul PV akan menghasilkan output terbanyak jika diarahkan langsung ke matahari. Keadaan panel surya yang diletakkan digedung administrasi PT. PLN Sektor Pembangkitan Keramasan pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Pembangkit listrik tenaga surya di Gedung Administrasi PT. PLN Keramasan

## 2.2 Prinsip Kerja Solar Cell

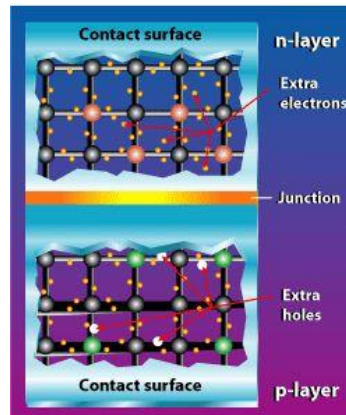
### 2.2.1 Prinsip Kerja secara umum

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction 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 semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah menggambarkan junction semikonduktor tipe-p dan tipe-n.

Peran dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga

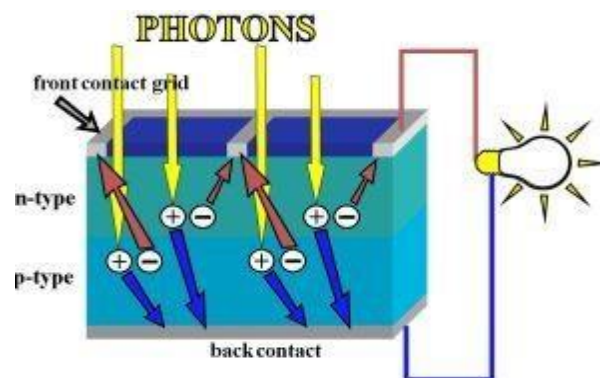


membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p.



**Gambar 2.2** Junction antara semikonduktor tipe-p (kelebihan hole) dan tipe-n (kelebihan elektron)<sup>10</sup>

Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah.



**Gambar 2.3** Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction.

<sup>10</sup>[https://ee.unud.ac.id/file\\_pendukung\\_data\\_riwayat/1446028751.pdf](https://ee.unud.ac.id/file_pendukung_data_riwayat/1446028751.pdf), diakses 23 april 2019



### 2.2.2 Skema jaringan Solar Cell

Energi matahari dapat dimanfaatkan secara langsung dalam bentuk panas (energi termal) dan bentuk listrik (fotovoltaik). Sel surya berfungsi mengubah energi matahari menjadi listrik. Pembangkit listrik tenaga surya dapat dibangun dalam tiga skema jaringan: on-grid, off-grid (*stand alone*), dan hibrid.

**Pertama** adalah Skema on-grid yaitu pembangkit listrik tenaga surya dihubungkan dengan jaringan listrik lokal (jaringan listrik PLN). Skema on-grid menggunakan inverter yang berfungsi untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan sel surya menjadi listrik AC yang sesuai dengan jaringan lokal dan didukung dengan instrumen lain untuk menstabilkan koneksi jaringan.

**Kedua** adalah Skema dalam off-grid tidak terhubung dengan jaringan lokal, listrik disimpan dalam baterai yang dapat digunakan ketika produksi listrik tidak mencukupi atau saat malam hari. Seperti halnya jaringan on-grid, listrik DC bisa diubah menjadi listrik AC agar dapat dimanfaatkan. Skema offgrid ini sesuai untuk daerah yang jauh dari jaringan listrik, misal di daerah perdesaan atau pulau-pulau. Namun demikian, skema ini tentu juga cocok untuk titik-titik di perkotaan dengan alasan tertentu, misal untuk lampu jalanan. Skema off-grid berbasis energi terbarukan ini bisa menjadi opsi handal untuk tempat-tempat yang terpencil jauh dari jaringan listrik nasional. Selain lebih ramah lingkungan, untuk banyak lokasi skema ini berpotensi memasok listrik dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan jika memperluas jangkauan jaringan listrik nasional. Lebih jauh, dengan mengaplikasikan sistem energi terbarukan berbasis sumber daya lokal, skema ini tidak atau nyaris tidak tergantung dari sumber daya luar. Ini meningkatkan derajat keberlanjutan sistem tersebut dalam jangka panjang.

**Ketiga**, adalah skema hibrid di mana pembangkit listrik tenaga surya digabungkan dengan teknologi pembangkit listrik lain, misalnya biomassa, turbin angin atau diesel. Tujuan penggabungan tersebut adalah antara lain untuk menjamin stabilitas pasokan listrik. Skema hibrid dapat dilakukan secara on-grid maupun off-grid.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>Budiarto Rachmad, dkk. *Energi Surya Untuk Komunitas*, (Yogyakarta:2017), Hlm. 29-30.

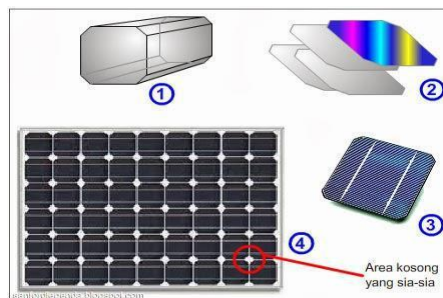


### 2.3 Jenis-jenis sel surya

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

#### 1. Monocrystalline

Jenis ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang diiris tipis-tipis. Kristal silikon murni yang membutuhkan teknologi khusus untuk mengirisnya menjadi kepingan-kepingan kristal silikon yang tipis. Dengan teknologi seperti ini, akan dihasilkan kepingan sel surya yang identik satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sehingga menjadi sel surya yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya, sekitar 15% - 20%. Mahalnya harga kristal silikon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain di pasaran.



**Gambar 2.4** Photovoltaic jenis Monocrystalline<sup>11</sup>

Keterangan gambar:

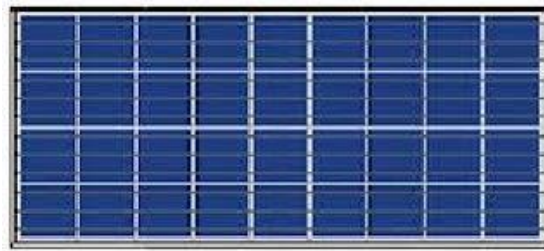
1. Batangan kristal silikon murni
2. Irisan kristal silikon yang sangat tipis
3. Sebuah sel surya monocrystalline yang sudah jadi
4. Sebuah panel surya monocrystalline yang berisi susunan sel surya monocrystalline. Nampak area kosong yang tidak tertutup karena bentuk sel surya jenis ini. Kelemahannya, sel surya jenis ini jika disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam atau bulat, tergantung dari bentuk batangan kristal silikonnya.

<sup>11</sup><http://sanfordlegenda.blogspot.co.id>, 2013, diakses 25 april 2019



## 2. Polycrystalline

Kemurnian kristal silikonnya tidak sempurna pada sel surya monocrystalline, karenanya sel surya yang dihasilkan tidak identik satu sama lain dan efisiensinya lebih rendah, sekitar 13% - 16%. Tampilannya nampak seperti ada motif pecahan kaca di dalamnya. Bentuknya yang persegi, jika disusun membentuk panel surya, akan rapat dan tidak akan ada ruangan kosong yang sia-sia seperti susunan pada panel surya monocrystalline di atas.



**Gambar 2.5** Photovoltaic Jenis Polycrystalline

## 3. Thin Film Solar Cell (TFSC)

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (*Thin Film Photovoltaic*).



**Gambar 2.6** Thin Film Solar Cell

### 2.4 Komponen dari Solar Cell dan spesifikasinya

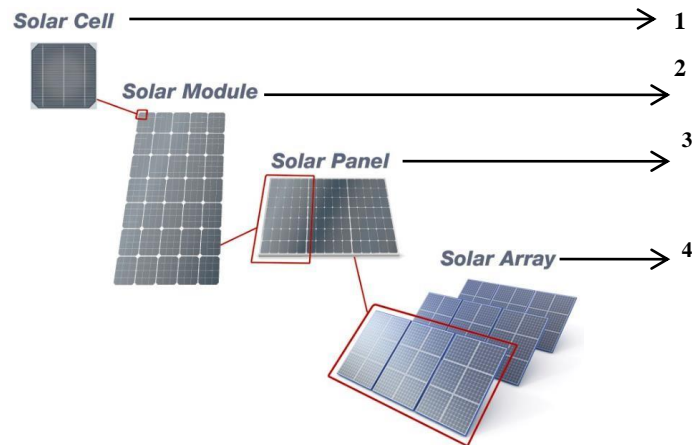
Solar Panel System Part adalah bagian-bagian yang membentuk sebuah sistem solar panel yang menghasilkan listrik yang dapat di gunakan untuk alat-alat elektronik dalam kehidupan sehari-hari. Sistem PLTS Terpusat atau disebut juga Stand Alone System.

Disebut *stand alone system* karena pada sistem ini PLTS menjadi satu-satunya sumber energi listrik. Di Indonesia, sistem ini banyak di pasang di pulau-



pulau terpencil yang sulit di akses oleh grid (PLN). PLTS Stand Alone terdiri dari beberapa komponen utama :

### 2.4.1 Modul Surya



**Gambar 2.7** Susunan Sel Surya<sup>3</sup>

#### Keterangan :

##### 1. Sel

Blok dasar yang umumnya memiliki tegangan keluaran sebesar 0,5 VDC.

##### 2. Modul fotovoltaik

Sekelompok sel fotovoltaik yang dihubungkan secara seri.

##### 3. String modul fotovoltaik

Beberapa modul fotovoltaik yang dihubungkan secara seri. Jumlah modul fotovoltaik tergantung pada solar charge controller dan inverter jaringan.

##### 4. Larik modul fotovoltaik

Seluruh kelompok modul fotovoltaik di dalam suatu sistem. Rangkaian modul fotovoltaik dapat berupa beberapa string modul fotovoltaik yang terhubung secara paralel.

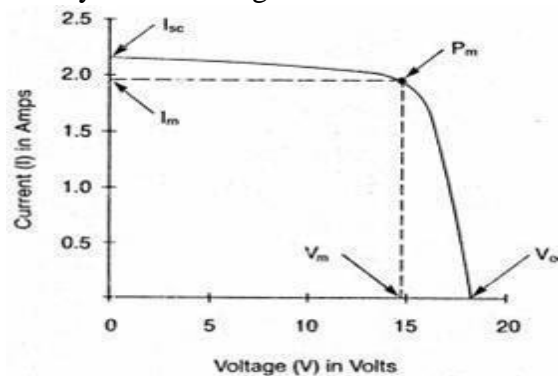
Modul fotovoltaik terdiri dari sejumlah sel fotovoltaik yang saling terhubung secara seri dan diproduksi menjadi sebuah unit.

<sup>3</sup>Contaned Energy Indonesia. *Buku panduan ENERGI yang terbarukan*. 2009. Hlm. 17.



Sel-sel tersebut berikut dengan kawat busbar penghubungnya dilindungi oleh bahan pelapis atau enkapsulasi (*encapsulating material*) yang melindungi sel-sel dari kontak langsung dengan lingkungan dan kekuatan mekanik yang dapat merusak sel-sel yang tipis. Pada grafik I-V dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah sel surya beroperasi secara normal, sel surya akan menghasilkan energy maksimum jika nilai  $V_m$  dan  $I_m$  juga maksimum.

Sedangkan  $I_{sc}$  arus listrik maksimum pada nilai volt=0 berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari.  $V_{oc}$  adalah volt maksimum pada nilai arus nol,  $V_{oc}$  naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi akkumulator.



**Gambar 2.8** Grafik I-V Solar Cell

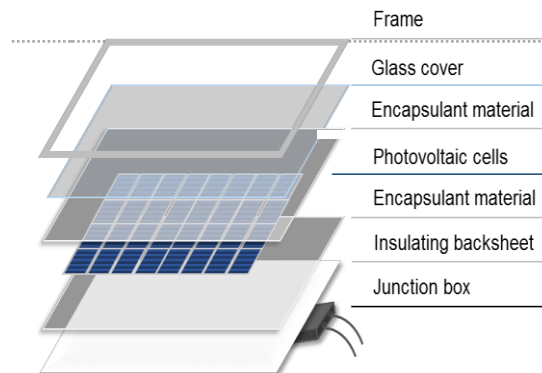
Keterangan:

- $I_{sc}$  = Arus Minimum
- $V_{sc}$  = Tegangan Minimum
- $V_m$  = Tegangan Maksimum
- $I_m$  = Arus Maksimum
- $P_m$  = Daya Maksimum

Kurva tersebut menjelaskan operasi arus dan tegangan modul fotovoltaik pada radiasi sinar matahari dan suhu tertentu. Karena modul fotovoltaik merupakan komponen utama dalam PLTS, kualitas modul fotovoltaik yang baik sangatlah penting untuk mempertahankan operasional sistem.<sup>12</sup>

<sup>12</sup><http://www.musbikhin.com/solar-cell>, diakses 1 mei 2019





**Gambar 2.9** Struktur modul fotovoltaik<sup>6</sup>

**Keterangan :**

**Bingkai atau *frame*** biasanya terbuat dari aluminium anodized untuk menghindari korosi. Oleh karena pemasangan bingkai dilakukan di akhir proses pembuatan, bingkai memiliki fungsi untuk memastikan kekokohan panel.

**Kaca pelindung (*glass cover*)** melindungi sel fotovoltaik dari lingkungan dan memastikan kekokohan panel. Karena fungsinya tersebut, kaca pelindung mengambil proporsi tertinggi dari total berat modul fotovoltaik.

**Enkapsulasi atau laminasi (*encapsulant material*)** adalah lapisan antara sel fotovoltaik dan kaca pelindung. Laminasi digunakan untuk mencegah kerusakan mekanis pada sel fotovoltaik dan mengisolasi tegangan dari sel fotovoltaik dengan bagian modul lainnya.

**Sel fotovoltaik (*photovoltaic cells*)** merupakan komponen utama dari modul fotovoltaik. Sel ini terbuat dari bahan semikonduktor yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel-sel saling terhubung secara seri untuk mendapatkan tegangan total yang lebih tinggi melalui kawat busbar

**Lembar insulasi (*backsheet*)** terbuat dari bahan plastik untuk melindungi dan secara elektrik mengisolasi sel-sel dari kelembaban dan cuaca.

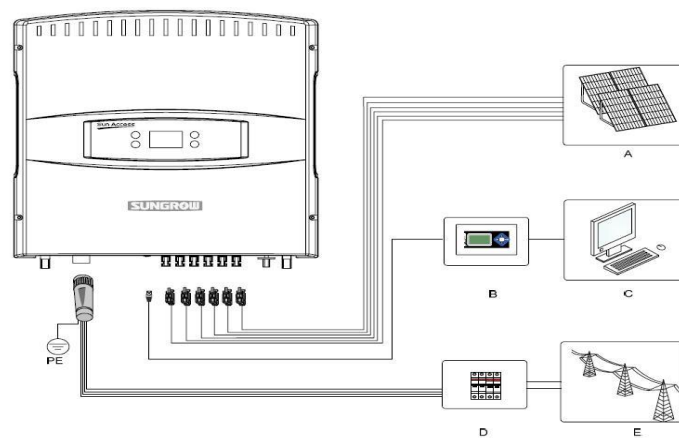
**Kotak penghubung (*junction box*)** digunakan sebagai terminal penghubung antara serangkaian sel fotovoltaik ke beban atau ke panel lainnya.

<sup>6</sup>Ramadhani. Bagas. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya DOS&DON'TS*. 2018. Hlm.7.



### 2.4.2 Inverter

Inverter jaringan atau dikenal juga sebagai inverter PV atau grid inverter adalah komponen elektronik daya yang mengonversi tegangan DC dari larik modul fotovoltaik menjadi tegangan AC baik untuk pemakaian langsung atau untuk menyimpan kelebihan daya ke dalam baterai. Serupa dengan solar charge controller (SCC), perangkat ini juga dilengkapi dengan MPPT (*maximum power point tracker*) untuk mengoptimalkan daya yang ditangkap dari larik modul fotovoltaik.

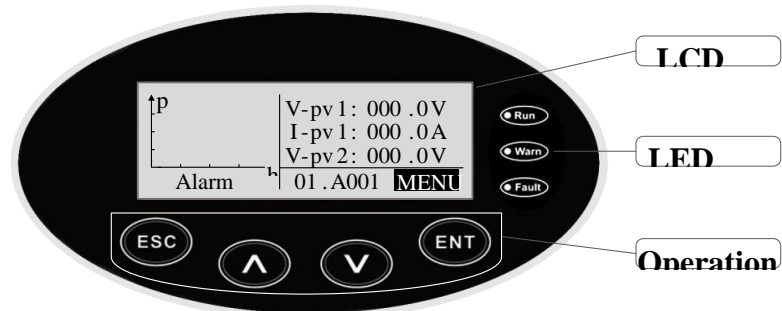


**Gambar 2.10** Electrical connection yang terdapat pada PLTS<sup>5</sup>

Pada kasus khusus dimana tersedia tegangan jaringan, inverter akan melakukan sinkronisasi dengan tegangan dan frekuensi jaringan agar dapat bergabung dengan jaringan tersebut dan mengirimkan daya yang telah dikonversi ke jaringan AC. Pada prinsipnya, inverter jaringan dapat digunakan baik di sistem off-grid maupun on-grid. Inverter bekerja dengan cara yang sama, yaitu dengan mengikuti tegangan dan frekuensi jaringan. Dalam sistem on-grid, inverter akan terus memberikan daya selama matahari bersinar dan jaringan mampu mendistribusikan daya yang dikonversi.<sup>9</sup>

<sup>5</sup>Mertasana, PA, *Pengaruh Kebersihan Modul Surya Terhadap Daya Output*, 2017, Hlm.18.

<sup>9</sup>INVT Solar Technology (Shenzhen) Co., Ltd. Hlm.41.



**Gambar 2.11** Tampilan operasi inverter<sup>12</sup>

### 2.4.3 MCB

MCB Merupakan kependekan dari Miniature Circuit Breaker, Biasanya MCB digunakan oleh pihak PLN untuk membatasi arus serta pengaman instalasi listrik. MCB berfungsi sebagai pengaman hubungan singkat/korselet serta mempunyai fungsi pengaman beban lebih, MCB otomatis akan memutuskan arus bila arus yang melewatinya melebihi batas nominal yang telah ditentukan pada MCB tersebut.

### 2.4.4 CT

Penggunaan Trafo Arus (Current Transformer/CT) dapat kita jumpai di titik-titik pengukuran PLN atau di panel-panel milik pelanggan dengan daya relatif besar. Untuk melihat fisik trafo arus agak sulit memang, karena lokasi trafo arus tersebut biasanya tersembunyi di dalam kotak panel sehingga agak sulit dilihat dari luar. Trafo Arus (CT) umumnya difungsikan sebagai alat bantu untuk pengukuran arus dengan nilai besar. Di sini trafo arus membantu agar alat ukur (ampere meter, cos phi meter, watt meter dll) bisa digunakan untuk mengukur arus yang jauh lebih besar dari kapasitas aslinya.<sup>13</sup>

<sup>13</sup><http://magdalenasiahn.blogspot.com/2016/06/mengenal-fungsi-trafo-arus-ct.html>,

diakses 20 mei 2019



### **2.4.5 FUSE**

Fuse atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan Sekering adalah komponen yang berfungsi sebagai pengaman dalam Rangkaian Elektronika, maupun perangkat listrik. Fuse (Sekering) pada dasarnya terdiri dari sebuah kawat halus pendek yang akan meleleh dan terputus jika dialiri oleh Arus Listrik yang berlebihan ataupun terjadinya hubungan arus pendek (*short circuit*) dalam sebuah peralatan listrik / Elektronika. Dengan putusnya Fuse (sekering) tersebut, Arus listrik yang berlebihan tersebut tidak dapat masuk ke dalam Rangkaian Elektronika sehingga tidak merusak komponen-komponen yang terdapat dalam rangkaian Elektronika yang bersangkutan. Karena fungsinya yang dapat melindungi peralatan listrik dan peralatan Elektronika dari kerusakan akibat arus listrik yang berlebihan, Fuse atau sekering juga sering disebut sebagai Pengaman Listrik.

### **2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Solar Cell Panel**

Pengoperasian maximum sel surya sangat tergantung pada:

1. Ambient air temperature Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat celsius), kenaikan temperature lebih tinggi dari temperatur normal pada photovoltaic (PV) akan melemahkan voltage (Voc). Setiap kenaikan temperature sel surya 1 derajat Celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 derajat C.
2. Radiasi Solar Matahari Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spectrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada arus (I) sedikit pada tegangan.
3. Kecepatan tiap angin disekitar lokasi PV dapat membantu mendinginkan permukaan temperature kaca-kaca PV.



4. Keadaan atmosfer bumi-berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, Uap air udara(Rh), kabu dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.
5. Orientasi dari rangkaian PV ke arah matahari secara optimum. Orientasi dari rangkaian PV ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energy maximum, selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi hasil energi maximum (lihat pekerjaan tilt angle). Sebagai catatan: untuk lokasi yang terletak dibelahan utara latitude, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke TimurBarat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energy matahari optimum.
6. Sudut orientasi matahari. Sudut orientasi matahari mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energy maximum  $\pm 1000 \text{ W/m}^2$  atau  $1 \text{ Kw/m}^2$ . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).<sup>7</sup>
7. Kotak junction harus tertutup dan disegel karet untuk menghindari masuknya air, hubungan arus pendek, dan bahaya tersengat listrik karena adanya tegangan listrik.



**Gambar 2.12 Kotak Junction<sup>6</sup>**

<sup>7</sup>Yuliana Subekti, dkk. *Pengaruh perubahan Intensitas Matahari*, dalam Jurnal Pengabdian LPPM, No.02, (Surabaya:2015). Hlm.195.

<sup>6</sup>Ramadhani. Bagas. *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya DOS&DON'TS*. 2018. Hlm.17.



8. Kaca pelindung modul fotovoltaik. Kenaikan temperature yang signifikan karena terjadinya hot spot, buruknya struktur penopang, dan tarikan yang disebabkan oleh rangka modul fotovoltaik juga dapat menyebabkan retaknya kaca.
9. Bayangan (*shading*) pada modul fotovoltaik. Bayangan adalah masalah yang sangat penting pada PLTS karena dapat secara signifikan mengurangi kinerja sistem.



*Gambar 2.13 Bayangan dari pohon*

Pada tahun 1905, Einstein memperkenalkan radiasi elektromagnetik ( atau secara sederhana disebut cahaya) merupakan jumlah terkuantitas dan terddapat dalam jumlah elementer (kuanta) yang kita sebut foton. Cahaya merupakan gelombang sinus, dengan panjang gelombang  $\lambda$ , frekuensi  $f$  , dan kecepatan  $c$ , sehingga :

$$F = \frac{c}{\lambda} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$f$  : Frekuensi (Hz)

$\lambda$  : Panjang Gelombang (m)

$c$  : kecepatan (s)

$$E = h.f$$

$$= h. \frac{c}{\lambda} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana  $h$  disini adalah konstanta planck , konstanta yang mempunyai nilai  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  joule . detik=  $4,14 \times 10^{-15}$  Ev.detik



Dimana

$E$  : Energi foton

$h$  :  $6,63 \times 10^{-34}$  j.s

$f$  : frekuensi (Hz)

Adapun radiasi cahaya matahari itu sendiri harus diubah menjadi energi listrik.

Dibawah ini adalah satuan konversi :

1 Lux = 1 Lumen/m<sup>2</sup>

1 Lumen = 0,0015 Watt

Dari satuan konversi diatas maka dapat dicari berapa energi surya yang diterima oleh panel surya darisinar matahari.<sup>4</sup>

### 2.5.1 Daya Pada Panel Surya

Daya listrik adalah besaran listrik yang menyatakan besarnya energi yang digunakan untuk mengaktifkan komponen atau peralatan listrik/elektronik. Intensitas cahaya menentukan besarnya daya dari energi sumber cahaya yang sampai pada seluruh permukaan sel surya. Jika luas permukaan sel surya ( $A$ ) dengan intensitas tertentu, maka daya masukan sel surya adalah :

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

Dimana

$P_{in}$  = daya yang diterima akibat irradiance matahari (watt)

$I_r$  = Intensitas Cahaya (W/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas permukaan sel surya (m<sup>2</sup>)

Besar daya keluaran sel surya ( $P_{maks}$ ) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), arus hubungan singkat ( $I_{sc}$ ), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihubungkan dengan rumus

$$P_{maks} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots (2.4)$$

<sup>4</sup>Dita. EP, *Analisa daya perubahan intensitas matahari terhadap daya keluaran*, 2014, hlm.34.



Dimana :

$P_{out}$  = Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (watt)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat pada sel surya (ampere)

FF = *Fill Factor* (faktor pengisi)

Faktor pengisi (*fill factor, FF*) merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ )<sup>5</sup>

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$V_{mp}$  = Tegangan pada  $P_{maks}$  (volt)

$I_{mp}$  = Arus pada  $P_{maks}$  (ampere)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat (ampere)

Parameter Panel Surya Parameter utama yang mengkarakterisasi panel photovoltaic adalah:

1. Arus Sirkuit Pendek atau Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )  
 arus maksimum yang disediakan oleh panel waktu konektor mengalami sirkuit pendek.
2. Tegangan Sirkuit Terbuka atau Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )  
 Tegangan maksimum yang disediakan oleh panel ketika terminal tidak dihubungkan pada beban sama sekali (kontak terbuka). Nilai ini biasanya 22 V untuk panel-panel yang bekerja di sistem 12 V, dan secara langsung proporsional dengan sejumlah sel yang tersambung dalam serial.

---

<sup>5</sup>Mertasana, PA. 2017. *Pengaruh Kebersihan Modul Surya Terhadap Daya Output Yang di Hasilkan Pada PLTS Kayubuhi Kabupaten Bangli*. Hlm. 24-25.





3. Titik Daya Maksimum atau Maksimum Power Point ( $P_{max}$ )  
Titik dimana daya yang disediakan oleh panel berada di titik maksimum, dimana  $P_{max} = I_{max} \times V_{max}$ . Titik daya maksimum panel diukur dalam Watt (W) atau Watt tertinggi ( $W_p$ ). Penting untuk tidak lupa bahwa dalam kondisi normal, panel akan tidak dapat bekerja pada kondisi tertinggi, karena tegangan operasi ditetapkan oleh beban atau pengatur. Nilai umum  $V_{max}$  dan  $I_{max}$  sebaiknya sedikit lebih rendah daripada ISC dan VOC.
4. Faktor pengisi atau Fill Factor (FF)  
Hubungan antara daya maksimum sesungguhnya yang dapat disediakan oleh panel dengan perkalian  $ISC \times VOC$ . Ini memberikan anda gambaran kualitas panel karena ini adalah indikasi tipe kurva karakteristik IV. Semakin dekat FF kepada 1, semakin banyak daya yang dapat diberikan oleh panel. Nilai umum biasanya berkisar antara 0,7 dan 0,8.
5. Efisiensi atau Efficiency ( $\eta$ )  
Rasio antara daya listrik maksimum yang dapat diberikan oleh panel kepada beban dan daya dari radiasi surya (PL) yang masuk ke panel. Ini biasanya sekitar 10-20%, tergantung pada tipe sel (monocrystalline, polycrystalline, amorphous atau film tipis). Mempertimbangkan definisi titik daya maksimum dan faktor pengisi, kita dapat melihat bahwa:  $\eta = P_{max} / PL = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} / PL$  Nilai  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $I_{Pmax}$  dan  $V_{Pmax}$  disediakan oleh pabrik dan merujuk pada kondisi standar pengukuran dengan penyinaran  $G = 1000$ .<sup>1</sup>

### 2.5.2 Arus dan Tegangan

Arus dan Tegangan Atom adalah partikel terkecil penyusun materi, atom terdiri dari partikel-partikel sub-atom yang tersusun atas elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron adalah muatan listrik negatif (-) yang paling mendasar. Elektron dalam cangkang terluar suatu atom disebut elektron valensi.

---

<sup>1</sup>Andriwan, AH, *Tegangan Keluaran Solar Cell Type Monocrystalline Sebagai Dasar Pertimbangan Pembangkit Tenaga Surya*, Surabaya:2017,Hlm.45.



Apabila energi eksternal seperti energi kalor, cahaya, atau listrik diberikan pada materi, elektron valensinya akan memperoleh energi dan dapat berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Jika energi yang diberikan telah cukup, sebagian dari elektron-elektron valensi terluar tadi akan meninggalkan atomnya dan statusnya pun berubah menjadi elektron bebas. Gerakan elektron- elektron bebas inilah yang akan menjadi arus listrik dalam konduktor logam. Gerak atau aliran elektron disebut arus (  $I$  ), dengan satuan ampere. Sebagian atom kehilangan elektron dan sebagian atom lainnya memperoleh elektron. Keadaan ini akan memungkinkan terjadinya perpindahan elektron dari satu objek ke objek lain. Apabila perpindahan ini terjadi, distribusi muatan positif dan negatif dalam setiap objek tidak sama lagi. Objek dengan jumlah elektron yang berlebih akan memiliki polaritas listrik negatif (-). Objek yang kekurangan elektron akan memiliki polaritas listrik Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya 196 positif (+).

Besaran muatan listrik ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan dengan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol untuk besaran muatan elektron ialah  $Q$  dan satuannya adalah coulomb. Besarnya muatan  $1\text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$  elektron. Kemampuan muatan listrik untuk mengerahkan suatu gaya dimungkinkan oleh keberadaan medan elektrostatis yang mengelilingi objek yang bermuatan tersebut. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk melakukan kerja akibat tarikan atau tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatisnya.

Kemampuan melakukan kerja ini disebut potensial. Apabila satu muatan berbeda dari muatan lainnya, di antara kedua muatan ini pasti terdapat beda potensial. Satuan dasar beda potensial adalah volt (V). karena satuan inilah beda potensial  $V$  sering disebut sebagai voltage atau tegangan. Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 1, sedangkan nilai rerata daya yang dihasilkan selama titik pengujian ditunjukkan pada persamaan 2.

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.6)$$



Dimana :

$P$  = Daya keluaran (Watt)

$V$  = Tegangan keluaran (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{p_1+p_2+p_3+\dots+p_n}{n} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$P_{\text{rata-rata}}$  = Daya rata-rata (Watt)

$P_1$  = Daya pada titik pengujian ke satu

$P_2$  = Daya pada titik pengujian ke dua

$P_n$  = Daya pada titik pengujian ke n

### 2.5.3 Efisiensi Pada Sel Surya

Energi cahaya yang diterima oleh sel surya dapat diubah menjadi energi listrik. Semakin besar energi cahaya yang diserap maka semakin besar energi listrik yang dapat di hasilkan. Maka konversi energi inipun memiliki nilai efisiensi didalam nya. Efisiensi keluaran maksimum ( $\eta$ ) didefinisikan sebagai presentase keluaran daya optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai berikut (Amalia,Satwiko, 2010 :160) :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{\text{maks}}}{P_{\text{in}}} \times 100 \% \\ &= \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{E \times A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

Dimana :

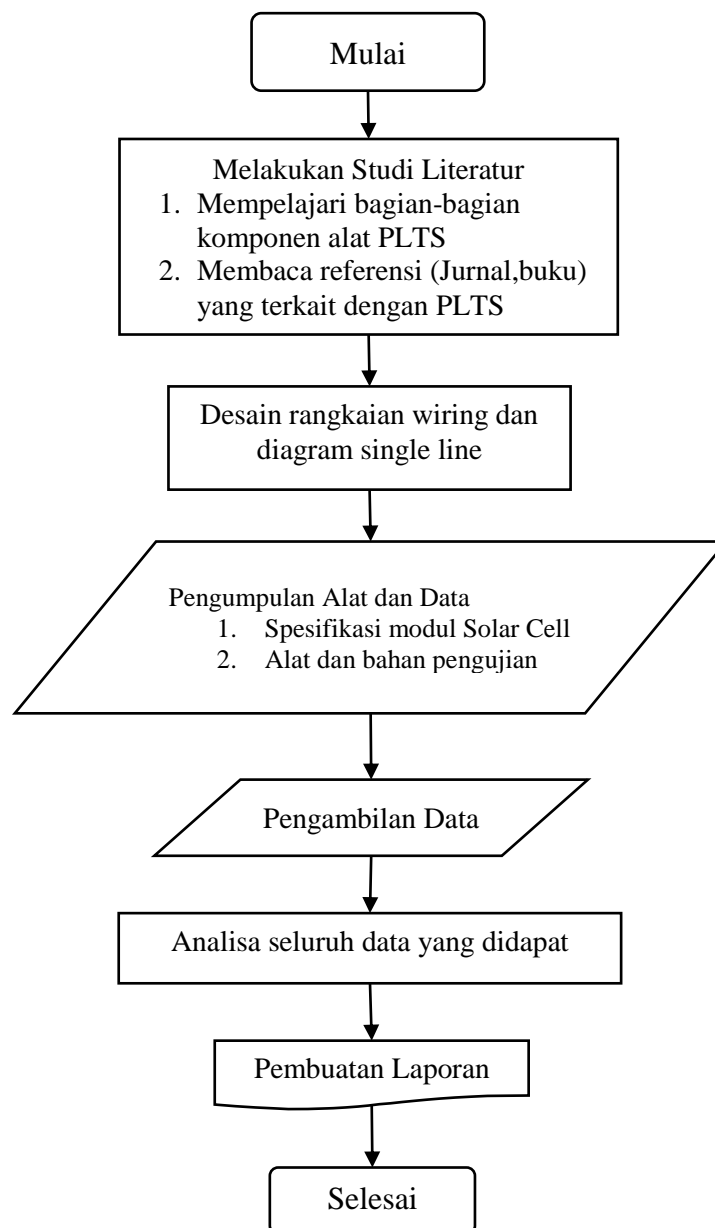
$\eta$  = Efisiensi sel surya (%)

$P_{\text{maks}}$  = Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (watt)

$P_{\text{in}}$  = daya yang di terima akibat *irradiance* matahari (watt)



### Flowchart Pengelolaan Data Karakteristik Solar Cell



Gambar 3.1 Flowchart Pengelolaan Data Karakteristik Solar Cell

