



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya <sup>(1)</sup>

Sistem fotovoltaik atau pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Pembangkit listrik berbasis energi terbarukan ini merupakan salah satu solusi yang direkomendasikan untuk listrik di daerah pedesaan terpencil di mana sinar mataharinya melimpah dan bahan bakar sulit didapat dan relatif mahal.

Dalam teknologi pembangkit listrik tenaga surya diperlukan beberapa komponen penting untuk menghasilkan listrik yakni salah satunya sel surya (panel surya). Kenapa energi matahari dapat dikonversikan pada energi listrik oleh panel surya? Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri dari dua jenis lapisan sensitif yaitu lapisan positif (tipe-P) dan lapisan negatif (Tipe-N). Panel surya terbagi menjadi dua jenis yaitu: (1) tipe Polikristalin dan (2) tipe Monokristalin.

Komponen kedua yang sangat penting adalah Solar Charge Controller (SCC). SCC adalah alat yang digunakan untuk mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya ke dalam baterai (Aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu,

---

<sup>1</sup> Bagus Ramadhani, Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya  
Dos & Don'ts ( Jakarta Pusat : Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)GmbH Energising Development (EnDev) Indonesia, 2018), hal. 2.



TV dan lain-lain. Dengan adanya solar charge controller maka energi listrik yang telah dihasilkan oleh sel surya akan otomatis akan diisikan pada aki dan menjaga aki agar tetap dalam kondisi baik. Kemudian dari SCC juga energi dari sel surya dapat digunakan langsung.<sup>19</sup> Komponen ketiga adalah baterai. Baterai adalah alat untuk menyimpan muatan listrik. Jadi, pada saat sel surya mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik, maka energi listrik tersebut kemudian disimpan pada baterai yang kemudian akan digunakan. Secara garis besar, baterai atau aki dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksi. Untuk aplikasi, maka baterai dibedakan lagi yaitu untuk engine starter (otomotif) dan *deep cycle*.<sup>20</sup> Komponen keempat adalah Inverter. Inverter adalah alat/perangkat yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (direct current/DC) dari sel surya dan baterai menjadi arus listrik bolak-balik (alternating current/AC) dengan tegangan 220 Volt yang kemudian akan digunakan pada listrik komersial seperti lampu dan televisi. Alat ini diperlukan untuk PLTS surya karena menyangkut instalasi kabel yang banyak dan panjang. Apabila beban bukan untuk instalasi rumah, misalnya hanya untuk menghidupkan satu lampu atau alat dengan voltase 12 Volt Direct Current (VDC) dan tidak menggunakan kabel yang panjang seperti penerangan jalan umum inverter tidak diperlukan. Apabila jumlah beban banyak dan kabel panjang dan tetap menggunakan tegangan 12 Volt DC tanpa menggunakan inverter maka akan terdapat rugi daya dan listrik yang hilang (losses).<sup>21</sup> Selain itu penggunaan inverter adalah penting karena akan mengubah arus yang berbeda (arus bolak-balik) menjadi arus yang sama pada PT. PLN sehingga tidak perlu memodifikasi kembali instalasi yang ada di rumah. Inverter terbaik dalam mengaplikasikan solar sel sistem adalah Inverter Pure Sine Wave, yang mempunyai bentuk gelombang sineus murni seperti listrik dari PT. PLN. Bentuk gelombang ini merupakan bentuk paling ideal untuk peralatan elektronik pada umumnya sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan.<sup>22</sup> Saat ini pengembangan PLTS di Indonesia telah mempunyai basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun pada tahap implementasi, potensi yang ada belum dimanfaatkan secara optimal.



Secara teknologi, industri fotovoltaic (PV) di Indonesia baru mampu melakukan pada tahap hilir, yaitu memproduksi modul surya dan mengintegrasikannya menjadi PLTS, sementara sel suryanya masih impor. Padahal sel surya adalah komponen utama dan yang paling mahal dalam sistem PLTS. Harga yang masih tinggi menjadi isu penting dalam perkembangan industri sel surya. Berbagai teknologi pembuatan sel surya terus diteliti dan dikembangkan dalam rangka upaya penurunan harga produksi sel surya agar mampu bersaing dengan sumber energi lain.

## 2.2 Energi surya (*Solar Energy*)

Matahari adalah suatu bola dari awan gas dengan suhu yang sangat panas. Suhu efektif pada permukaan besarnya 5760 K. sedang pada inti temperaturnya dapat mencapai lebih kurang  $8 \times 10^6$  sampai dengan  $40 \times 10^6$  K. Matahari adalah sumber energi kita yang paling kuat. Sinar matahari, atau energi surya, dapat digunakan untuk pemanasan rumah, pencahayaan dan pendinginan, pembangkit listrik, pemanas air, dan berbagai proses industri. Sebagian besar bentuk energi terbarukan berasal baik secara langsung atau tidak langsung dari matahari. Sebagai contoh, panas dari matahari menyebabkan angin bertiup, memberikan kontribusi terhadap pertumbuhan pohon dan tanaman lain yang digunakan untuk energi biomassa, dan memainkan peran penting dalam siklus penguapan dan curah hujan yang menjadi sumber energi air.

Suatu teori yang akhir-akhir ini dapat diterima para ahli mengatakan bahwa radiasi gelombang *elektromagnetik* merupakan kombinasi dari gelombang elektrik arus bolak-balik berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnet yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk foton. Gelombang energi yang memancar melalui ruangan angkasa memberikan pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Radiasi gelombang elektromagnetik dikelompokkan pada panjang gelombang yang memberikan rangsangan energi yang lebih besar dimana semakin pendek panjang gelombangnya semakin besar energinya. Radiasi yang dipancarkan melalui permukaan matahari mempunyai variasi panjang gelombang dari yang paling panjang (gelombang radiasi) sampai yang paling pendek (gelombang sinar X dan sinar gamma).



Pada dasarnya energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara  $1308 \text{ Watt/m}^2$  dan  $1398 \text{ Watt/m}^2$ . Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun, maka energi yang dapat diserap oleh bumi besarnya adalah  $751 \times 10 \text{ kW/jam}$ .

Besarnya jumlah radiasi matahari yang diterima oleh suatu tempat dipengaruhi oleh posisi sudut matahari yang masuk ke tempat tersebut. Dalam perencanaan suatu kolektor surya, posisi sudut matahari sangat perlu diketahui untuk memperoleh hasil yang maksimal sesuai dengan perancangan.

### 2.3 Jenis-jenis PLTS

**Tabel 2.1 : Jenis-jenis PLTS**

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



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

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

## 2.4 Komponen Utama PLTS

### 2.4.1 Panel Surya



Gambar 2.1 Panel Surya

Merupakan komponen utama yang harus ada dalam sistem pembangkit listrik surya. Panel surya terdiri dari sebuah modul yang di dalamnya terangkai sel surya (sel-sel fotovoltaiik) secara serie dan parallel,



dimana efek fotovoltaik terjadi. Sel surya inilah yang berfungsi untuk merubah energy surya menjadi energy listrik. Apabila beberapa modul surya dirangkai, maka akan terbentuk suatu sistem pembangkit listrik tenagasurya. Kualitas sebuah modul surya, antara lain dinilai berdasarkan efisiensinya untuk mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik DC. Namun karena banyak beban listrik yang membutuhkan suplai listrik AC, maka listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya harus dikonversi oleh inverter menjadi listrik AC. Terkait dengan hal ini, sistem charging bateraipada sistem PLTS off-grid bisa berupa DC-Coupling atau AC-Coupling. Modul surya yang efisiensinya lebih tinggi akan menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan modul surya yang efisiensinya lebih rendah untuk luasan modul yang sama. Efisiensi modul surya antara lain bergantung pada material sel fotovoltaik dan proses produksinya. Secara umum, sel fotovoltaik terbuat dari material jenis crystalline dan non- crystalline (film tipis). Di Indonesia, panel surya yang banyak di pasaran adalah jenis crystalline, baik dalam format monocrystalline maupun polycrystalline. Jenis mono-crystalline harganya relative lebih mahal, tetapi efisiensinya sekitar 15 – 20%. Adapun polycrystalline, harganya lebih murah namun efisiensinya 1-2% lebih rendah dari monocrystalline. Ketika iradiasi matahari meningkat hingga 1000 W/m<sup>2</sup>, maka modul surya akan membangkitkan listrik DC hingga kapasitas yang tertera pada “nameplate”nya (misal: 250 Wp). Namun demikian, output listrik sesungguhnya dari susunan panel bergantung pada kapasitas sistem, iradiasi matahari, orientasi arah (azimuth) dan sudut panel, dan berbagai faktor lainnya. Controller dan Inverter



Gambar 2.2 Solar charge controller dan Inverter

Keduanya mempunyai fungsi berbeda, namun tidak bisa dipisahkan.



Solar Charge Controller (SCC) atau Solar Charge Regulator (SCR) merupakan otak dari berjalan tidaknya PLTS. Adapun fungsinya mengatur pelepasan energy yang dilakukan panel surya dan melakukan fungsi control secara keseluruhan. Untuk sistem Off-Grid DC-Coupling Solar Charge Controller (SCC), atau Solar Charge Regulator (SCR), berfungsi membatasi arus listrik yang masuk maupun keluar dari baterai. SCC/SCR mencegah pengisian daya (charging) yang berlebihan serta melindungi baterai dari tegangan berlebih. Selain itu, SCC/SCR juga mencegah baterai agar energi listrik yang tersimpan di dalamnya tidak terkuras (discharged) sampai habis. Beberapa tipe SCC/SCR dapat secara otomatis dan terkontrol memutus tegangan suplai beban, untuk mencegah baterai dari kondisi deep discharge yang bisa memperpendek umur pakai baterai. Salah satu fitur pada SCC/SCR yang paling bermanfaat untuk charging adalah sistem MPPT (Maximum Power Point Tracker). Dengan adanya sistem ini, baterai lebih cepat terisi karena modul PV akan selalu beroperasi pada output Titik DayaMaksimal yang bervariasi sesuai dengan iradiasi matahari. Modul PV hanya terhenti menghasilkan daya maksimal ketika baterai sudah mendekati batas maksimum charging. Dengan menggunakan MPPT, keuntungan lainnya adalah sistem tegangan rangkaian seri modul PV tidak perlu sama dengan sistem tegangan baterai. Misal sistem tegangan baterai 24 Vdc, maka sistem tegangan modul PV bisa 36 Vdc atau lainnya. SCC/SCR dapat berupa sebuah unit alat terpisah, atau dapat pula terintegrasi dengan unit DC AC inverter. Inverter dapat menjadi satu kesatuan di sebuah produk controller maupun dapat menjadi sebuah produk yang terpisah. Fungsinya untukmemaksimalkan tegangan dari DC (searah) ke DC dan/atau merubah tegangan DC ke AC (bolak-balik).

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

- DC-AC Inverter–untuk sistem Off-grid DC-Coupling. Inverter daya DC-AC merupakan alat elektronik yang berfungsi mengubah sistem tegangan DC dari keluaran modul PV atau baterai menjadi sistem tegangan AC.



Pengubah sistem tegangan ini penting, karena peralatan listrik secara umum memerlukan suplai tegangan AC.

- String Inverter–untuk sistem Off-grid AC-Coupling. PV String Inverter adalah unit alat yang berfungsi untuk merubah input tegangan DC langsung dari modul PV, menjadi output tegangan AC. Unit ini beroperasinya harus paralel dengan sumber tegangan AC lainnya, yaitu output dari string inverter di-interkoneksi-kan dengan sistem tegangan AC yang berasal dari pembangkit lainnya, seperti listrik diesel genset, atau (Bi-directional) Battery Inverter. Karena kemampuannya untuk beroperasi paralel pada tegangan AC, maka sistem PLTS ini memiliki keuntungan, yaitu bila kedepannya hendak diubah menjadi sistem on-grid tidak memerlukan perubahan yang berarti, karena tegangan dari grid PLN bisa langsung diinterkoneksi-kan pada jaringan AC-Coupling yang sudah ada. Dengan adanya tambahan daya listrik dari output String Inverter akan mengurangi beban bagi pembangkit lainnya, sehingga bila pembangkit tersebut berupa diesel genset, maka konsumsi BBM diesel akan lebih hemat. String Inverter biasanya juga dilengkapi fitur MPPT, agar output daya sistem PLTS selalu pada posisi maksimal mengikuti iradiasi matahari. Akan tetapi untuk mencegah terjadinya kondisi reverse power pada diesel genset, yaitu saat konsumsi daya beban < daya output sistem PLTS, maka string inverter dikontrol outputnya sesuai kebutuhan beban. Akan tetapi bila dalam sistem PLTS ini juga terdapat Bidirectional Battery Inverter, maka kelebihan beban tersebut bisa digunakan untuk charging battery.
- Baterai Inverter–untuk sistem Off-Grid AC-Coupling. Battery Inverter adalah unit peralatan yang digunakan untuk mengubah tegangan input DC dari baterai menjadi tegangan output AC pada saat proses discharge, dan sebaliknya untuk mengubah tegangan input AC dari grid menjadi tegangan output DC pada saat proses charging. Karena sifatnya yang bisa bolak-balik ini, maka battery inverter pada sistem ini disebut juga sebagai Bidirectional Battery Inverter.



## 2.4.2 Jenis-jenis Panel Surya

Tabel 2.2 : Jenis-jenis Panel Surya

Jenis Solar Panel	Keunggulan	Kerugian
Monocrystalline	- Efisiensi / kinerja tinggi - Estetika	- Biaya lebih tinggi
Polycrystalline	- Biaya lebih rendah	- Efisiensi / kinerja yang lebih rendah
Thin-film	- Portabel dan fleksibel - Ringan - Estetika	- Efisiensi / kinerja terenda

- Thin-Film Solar Cell Pada bagian ini kita akan membahas silikon Photovoltaic thin-film. Keuntungan dari sel surya silikon thin-film adalah bahwa mereka dapat disimpan pada substrat kaca dan bahkan pada substrat fleksibel.
- Crystalline Silicon Solar Cell Panel surya jenis ini memanfaatkan material silikon sebagai bahan utama penyusun sel surya. Tipe crystalline merupakan generasi pertama dari sel surya dan memiliki 3 jenis panel utama. Tipe panel surya ini mendominasi pasar dan banyak digunakan untuk pembangkit listrik surya di dunia saat ini.
  - Monocrystalline silicon (mono-Si) Panel surya jenis ini menggunakan sel surya jenis crystalline tunggal (single-crystal-Si) dan memiliki efisiensi paling tinggi di kelasnya. Secara fisik, panel surya Monocrystalline dapat diketahui dari warna sel hitam gelap dengan model terpotong pada tiap sudutnya.



### 2.4.3 Balance Of System



Gambar 2.3 Mcb dan Kabel

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

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



terpusat ke jaringan listrik PLN. Persyaratan penyambungan ke jaringan PLN akan mengacu kepada persyaratan interkoneksi yang dimiliki oleh PLN.

- Panel Distribusi. Panel ini dibutuhkan untuk membagi beban output inverter sesuai dengan kapasitas masing-masing beban. Panel ini juga bisa dilengkapi proteksi arrester, untuk memproteksi lonjakan tegangan dari eksternal, misalnya induksi sambaran petir.
- Panel Combiner. Panel ini dibutuhkan untuk menggabungkan rangkaian parallel modul surya ataupun baterai. Biasanya dibutuhkan untuk sistem PLTS dengan total daya besar, ataupun sistem PLTS yang menggunakan modul surya dengan kapasitas kecil (misalnya terkait pertimbangan transportasi ke daerah terisolasi), sehingga membutuhkan rangkaian paralel yang cukup banyak.
- Grounding System. Sistem ini dibutuhkan untuk mengamankan sistem kelistrikan secara keseluruhan agar salah satu output inverter (AC) memiliki potensial yang sama dengan potensial bumi (sebagai referensi titik netral).
- Penangkal Petir. Sistem ini dibutuhkan untuk mengamankan sistem PLTS keseluruhan agar bila terjadi gangguan petir di kawasan PLTS, hanya disalurkan ke bumi (tidak mengarah ke peralatan PLTS).
- Kabel PLTS. Untuk sistem PLTS ground-mounted, kabel yang dipilih direkomendasikan untuk menggunakan jenis kabel instalasi bawahtanah.
- Kabel Distribusi. Kabel distribusi bertujuan untuk mengalirkan listrik dari PLTS ke konsumen/beban. Kabel harus dipilih berdasarkan SNI, dan sesuai dengan kapasitas beban. Apabila ada beban yang terpisah dan jauh dari rumah daya, digunakan instalasi saluran udara.
- Meter Pengukuran. Meter pengukur pendapatan digunakan untuk pengukuran tagihan. Sistem inverter juga menghitung pembangkitan sistem, namun demikian, titik ini mungkin bukan merupakan metode dan lokasi yang disepakati antara pembeli dan penjual (meter pengukur pendapatan biasanya ditempatkan pada titik interkoneksi atau POI, yang



biasanya ada bagian hilir inverter).

- Sistem Proteksi. Sistem proteksi seperti sekering, sirkuit pemutus dan saklar dipasang di antara penyulang yang keluar dari transformator dan POI. Oleh karena itu, petugas PLTS terpusat dapat melepas hubungan pembangkit dan jaringan jika sewaktu-waktu diperlukan.
- J. Sistem Remote Monitoring. Sistem ini membantu pemantauan terhadap sebuah sistem PLTS dari jarak jauh, terkait dengan kinerja PLTS. Sistem ini membutuhkan sarana telekomunikasi agar kinerja PLTS dapat dipantau dari jarak jauh. Apabila tidak ada sarana telekomunikasi untuk remote monitoring, maka dapat digunakan monitoring lokal yang dilakukan secara periodik oleh pihak yang bertanggung jawab.

#### 2.4.4 Baterai



Gambar 2.4 Baterai VRLA

Berfungsi sebagai penyimpan daya, sehingga dapat digunakan pada saat matahari tidak bersinar. Untuk beberapa kebutuhan, baterai dapat menjadi pilihan tambahan pada sistem. Baterai menjadi komponen penting yang mempengaruhi sistem PLTS terpusat secara keseluruhan. Perawatan baterai, masa pakai, daya dan efisiensi merupakan parameter baterai yang mempengaruhi kinerja PLTS terpusat. Baterai yang paling tepat untuk sistem PLTS adalah yang memiliki jenis karakter Deep Discharge. Baterai jenis ini bisa di-discharge energi listriknya hingga tersisa sekitar 20% dari kapasitas



simpan baterai. (Baterai untuk starting kendaraan bermotor umumnya hanya boleh di-discharge hingga tersisa 80% dari kapasitassimpan baterai. Jika didischarge melebihi kapasitas tersebut), maka umur baterai akan lebih singkat. Dengan memasang panel surya di rumah, Anda bisa memiliki sumber listrik lain, selain listrik dari PLN. Namun tentunya, ada kelebihan dan kekurangan yang perlu diperhatikan bila inginmemasang panel surya. Berikut beberapa kelebihan dan kekurangan menggunakan panel surya: Kelebihan-kelebihan itu diantaranya; Mengurangi biaya tagihan listrik. Saat ini, pemanfaatan panel surya di ataprumah sudah diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No. 49/2018 tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap oleh KonsumenPT PLN (Persero). Dalam Permen tersebut diatur mengenai skema transaksi ekspor-impor energi listrik sistem PLTS atap. Beleid itu, memungkinkan konsumen PLN untuk menjual energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS atapatau solar rooftop kepada PLN melalui skema ekspor-impor. Jumlah energiyang ditransaksikan kepada PLN dapat menjadi pengurang tagihan listrik konsumen. Alhasil, masyarakat bisa menghemat listrik. Kelebihan lainnya adalah Ada sebagai Konsumen Yang Mandiri Energi, sebab dengan memasang panel surya, Anda tidak perlu lagi kalang kabut bila terjadi pemadaman listrik oleh PLN. Anda tetap dapat menggunakan energi listrikyang dihasilkan oleh panel surya untuk memenuhi beberapa kebutuhan. Demikian pula panel surya bersifat ramah lingkungan. Karena Kkebutuhanlistrik masyarakat sebagian besar masih dipenuhi dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan bahan bakar batu bara. Penggunaanbatu bara tentunya berkontribusi terhadap polusi udara. Sedangkan panel surya memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan listrik. Olehkarena itu, penggunaan panel surya sangat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi. Hal lain penggunaan panel surya perawatan mudah dan awet. Perawatan panel surya tergolong mudah, yakni hanya perlu dibersihkan dari debu dengan menggunakan air atau sabun. Membersihkan panel surya cukup dilakukan setiap 6 bulan sekali. Dengan perawatan yang baik, masa pakai panel surya bisa bertahan lebih dari 20-30 tahun. Namun



demikian sebagai konsumen kita juga harus mengetahui kekurangan penggunaan panel surya bagi kebutuhan listrik kita diantaranya; Biaya pemasangan mahal, sebab saat ini, pemanfaatan panel surya oleh rumah tangga belum begitu banyak. Hal ini disebabkan biaya pemasangan panel surya masih relatif mahal. Untuk memasang 1 kilowatt peak (kWp) panel surya dibutuhkan investasi atau modal sekitar Rp13-Rp18 juta. Kemudian panel surya itu bersifat intermiten (tidak stabil) Tidak ada jaminan solar panel mendapat paparan sinar matahari secara terus-menerus. Sumber energi listrik jenis ini sangat bergantung pada kondisi cuaca dan waktu. Apabila hujan atau matahari tertutup awan, suplai sumber energi tentu tidak cukup. Sehingga pada saat-saat tertentu, produksi listrik dari panel surya bisa menurun. Pada malam hari juga tidak ada matahari yang bisa menyuplai energi ke solar panel sehingga tidak bisa menghasilkan listrik. Oleh karena itu, pemasangan panel surya juga perlu disiapkan teknologi baterai sebagai penyimpan energi listrik.

## 2.5 Karakteristik Sel Surya (*Photovoltaic*)

Kapasitas daya dari sel atau modul surya dilambangkan dalam watt peak (Wp) dan diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu Standard Test Condition(STC). Standar ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar  $1000 \text{ W/m}^2$  yang tegak lurus sel surya pada suhu  $25^\circ\text{C}$  Modulphotovoltaic memiliki hubungan antara arus dan tegangan. Pada saat tahanan variable bernilai tak terhingga (*open circuit*) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ).

Pada keadaan yang lain, ketika tahanan variable bernilai nol (*short circuit*) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). Jika tahanan variable memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga maka arus ( $I$ ) dan tegangan ( $V$ ) akan diperoleh nilai yang bervariasi.

### 2.5.1 Sejarah Solar Cell

Tenaga listrik dari cahaya matahari pertama kali ditemukan oleh Alexandre – Edmund Becquerel seorang ahli fisika Perancis pada tahun 1839. Temuannya ini merupakan cikal bakal teknologi *solar cell*. Percobaannya



dilakukan dengan menyinari 2 elektroda dengan berbagai macam cahaya. Tahun 1873, seorang Insinyur Inggris Willoughby Smith menemukan Selenium sebagai suatu elemen *photoconductivity*. Kemudian tahun 1876, William Grylls dan Richard Evans Day membuktikan bahwa Selenium menghasilkan arus listrik apabila disinari dengan cahaya matahari. Hasil penemuan mereka menyatakan bahwa Selenium dapat mengubah tenaga matahari secara langsung menjadi listrik tanpa ada bagian bergerak atau panas. Sehingga disimpulkan bahwa solar cell sangat tidak efisien dan tidak dapat digunakan untuk menggerakkan peralatan listrik.

Tahun 1894 Charles Fritts membuat *Solar Cell* pertama yang sesungguhnya yaitu suatu bahan semiconductor (selenium) dibalut dengan lapisan tipis emas. Tingkat efisiensi yang dicapai baru 1% sehingga belum juga dapat dipakai sebagai sumber energi, namun kemudian dipakai sebagai sensor cahaya.

Tahun 1905 Albert Einstein mempublikasikan tulisannya mengenai *photoelectric effect*. Tulisannya ini mengungkapkan bahwa cahaya terdiri dari paket – paket atau “*quanta of energi*” yang sekarang ini lazim disebut “*photon*.” Teorinya ini sangat sederhana tetapi revolusioner. Kemudian tahun 1916 pendapat Einstein mengenai *photoelectric effect* dibuktikan oleh percobaan Robert Andrew Millikan seorang ahli fisika berkebangsaan Amerika dan ia mendapatkan Nobel Prize untuk karya *photoelectric effect*. Tahun 1923 Albert Einstein akhirnya juga mendapatkan Nobel Prize untuk teorinya yang menerangkan *photoelectric effect* yang dipublikasikan 18 tahun sebelumnya.

Tahun 1982, Hans Tholstrup seorang Australia mengendarai mobil bertenaga surya pertama untuk jarak 4000 km dalam waktu 20 hari dengan kecepatan maksimum 72 km/jam. Tahun 1985 *University of South Wales Australia* memecahkan rekor efisiensi *solar cell* mencapai 20% dibawah kondisi satu cahaya matahari. Tahun 2007 *University of Delaware* berhasil menemukan *solar cell technology* yang efisiensinya mencapai 42.8%. Hal ini merupakan rekor terbaru untuk “*thin film photovoltaic solar cell*”<sup>2</sup>.



Perkembangan dalam riset *solar cell* telah mendorong komersialisasi dan produksi *solar cell* untuk penggunaannya sebagai sumber daya listrik.

## 2.6 Daya Output

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 electron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan 1, sedangkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan selama titik pengujian.

$$P = V.I$$

Keterangan :

P = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)

Dengan :

*rata-rata*

$$= \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_n}{N}$$

Daya rata-rata = Daya rata-rata (Watt)

P1 = Daya pada titik pengujian ke satu

P2 = Daya pada titik pengujian ke dua

P3 = Daya pada titik pengujian ke tiga

Pn = Daya pada titik pengujian ke n

N = Jumlah P1 s/d Pn



## **2.7 Lama Penyinaran Matahari**

Lama penyinaran matahari merupakan satu dari beberapa unsur klimatologi. Lama penyinaran matahari atau durasi penyinaran matahari (periodisitas) adalah lamanya matahari bersinar cerah pada permukaan bumi yang dihitung mulai dari matahari terbit hingga terbenam. Besarnya lama penyinaran matahari ditulis dalam satuan jam, nilai persepuluhan, atau dalam satuan persen terhadap panjang hari maksimum (Ariffin, dkk., 2010)