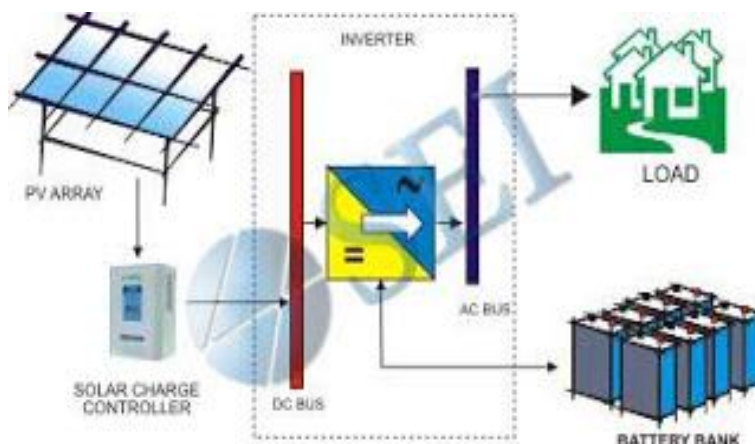


BAB II

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya terdiri dari beberapa komponen yang diantaranya adalah rangkaian panel surya yang dilengkapi dengan struktur penyangga, baterai, sistem kontrol, inverter, dan pengkabelan seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.1 Sistem dan komponen PLTS

Sumber: <http://suryaenergi.com/in/home>

Keterangan gambar :

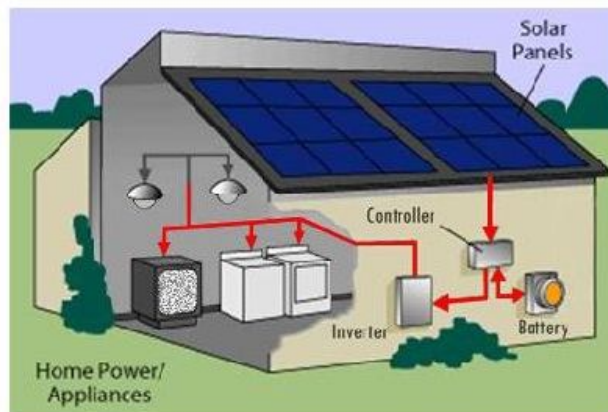
- a. PV Array atau rangkaian panel surya
- b. Solar Charge Controller
- c. Battery Bank penyimpan energi

d. Inverter untuk merubah arus searah ke arus bolak balik

e. Beban

2.1.1. Konfigurasi PLTS

Konfigurasi PLTS ada dua : PLTS terhubung dengan grid (*utility grid-connected PV system*) dan PLTS stand alone.



Gambar 2.2 Komponen Utama PLTS

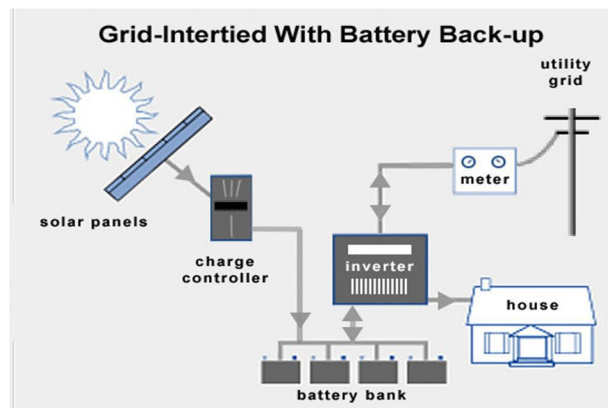
Sumber : <http://jendeladenngabei.blogspot.com/2012/11/pembangkit-listrik-tenaga-surya-plts.html>

2.1.1.1 PLTS Terhubung Jaringan (*On Grid*)

PLTS terhubung jaringan dirancang untuk bekerja secara paralel dengan *electric utility grid*. Ada dua tipe sistem kelistrikan untuk sistem PLTS : sistem yang berhubungan dengan jaringan dan tidak memiliki baterai dan sistem yang berhubungan dengan jaringan dan memiliki baterai. Pada sistem dengan baterai dapat menanggung beban penting selama jaringan tidak mampu menanggungnya. Bila ada gangguan, unit terpisah dari jaringan dan menyuplai beberapa beban penting, *PV array* hanya dapat menanggung beban pada siang

hari. Komponen utama di kedua sistem adalah inverter atau *power conditioning system*.

Inverter digunakan untuk mengubah arus searah dari panel surya menjadi arus bolak balik. Inverter penting agar sistem mampu bekerja dengan baik dan merupakan peralatan yang paling kompleks di sistem. Syarat paling penting dari karakteristik inverter adalah: dapat bekerja pada perubahan tegangan dan arus yang besar. Selain itu inverter dapat menyediakan daya arus bolak balik dengan kualitas daya yang baik. Selama 20 tahun terakhir, para peneliti telah bekerja untuk mengembangkan topologi inverter yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan yang ada. Evolusi dan peralatan solid state seperti *MOSFET*, *IGBT*, *microprocessor*, integrated PWM circuit telah meningkatkan kinerja inverter.

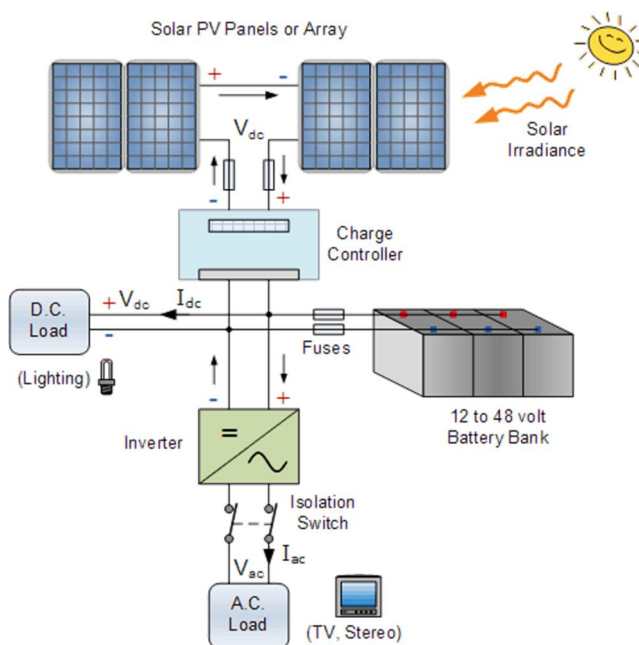


Gambar 2.3 *Grid Connected PV System*

Sumber: <http://solarsuryaindonesia.com/sistem-plts>

2.1.1.2 PLTS Stand-alone

PLTS Stand-alone digunakan sebagai pengganti sumber energi listrik. PLTS ini memiliki *solar charging module*, *storage battery*, dan *controller* seperti ditunjukkan gambar 2.4. Panel surya diletakkan pada atap ataupun di atas tanah dan jika diinginkan daya 120/40 Volt arus bolak balik sebuah inverter juga akan dibutuhkan. Sistem ini biasanya digunakan di daerah yang terpencil yang tidak terhubung dengan jaringan listrik. Pada PLTS stand-alone digunakan baterai sebagai penyimpan energi listrik. Sebuah *controller* digunakan untuk mengatur keseluruhan sistem dan mencegah baterai dari pengisian berlebih (*overcharging*) dan pemakaian berlebih (*overdischarging*). Panel surya mengisi baterai pada siang hari dan menyuplai daya pada beban saat dibutuhkan.



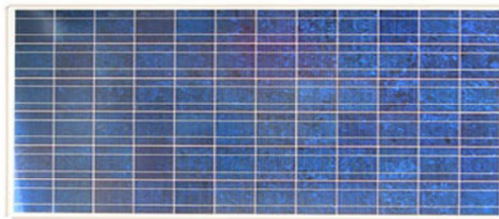
Gambar 2.4 Sistem Stand-alone

Sumber: <http://jendeladenngabei.blogspot.com/2012/11/pembangkit-listrik-tenaga-surya-plts.html>

2.1.2 Komponen PLTS

1. Panel Surya

Sel surya atau sel photovoltaic merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut berjenis diode yang tersusun atas P – N Junction. Sel surya yang dibuat dari bahan semi konduktor diproses sedemikian rupa, sehingga dapat menghasilkan daya listrik arus searah. Dalam penggunaannya, sel surya dihubungkan satu sama lain, paralel atau seri, tergantung dari kebutuhan untuk menghasilkan daya listrik yang diinginkan. Suatu kesatuan rangkaian yang terdiri atas beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri, paralel, atau kombinasi seri dan paralel disebut panel surya.



Gambar 2.5 Panel Surya

Sumber <http://2.bp.blogspot.com/>

2. Baterai

Baterai adalah alat yang menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya yang tidak segera digunakan oleh beban. Energi listrik yang disimpan dapat digunakan saat periode radiasi matahari rendah atau pada malam hari. Baterai menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam PLTS adalah timbal asam yang bebas pemeliharaan (*maintenance-*

free lead-acid batteries), yang juga disebut baterai recombinant atau VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*).



Gambar 2.6 Baterai

Sumber: <http://solarsuryaindonesia.com/panduan/tips-dalam-pemeliharaan-baterai-awet-untuk-sistem-tenaga-surya>

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem PLTS, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak tersedia oleh array panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang dihasilkan oleh panel surya ketika daya listrik yang dihasilkan melebihi beban. Baterai mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Pada siang hari, array panel surya menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang tidak digunakan dengan segera digunakan untuk mengisi baterai. Selama tidak ada matahari, kebutuhan energi listrik dikeluarkan dari baterai, sehingga ada siklus menyimpan dan mengeluarkan energi listrik dari baterai. Jika pada siang hari bebannya ringan, baterai akan menyimpan energi listrik. Baterai akan mengeluarkan energi listrik pada malam hari ketika ada beban. Baterai juga akan mengeluarkan energi listrik ke

beban ketika penyinaran tidak cukup, karena kondisi alam seperti iklim, awan, debu, dan lain-lain.

3. Battery Charge Regulator

Battery Charge Regulator (pengatur pengisian energi listrik pada baterai) memastikan bahwa baterai bekerja sebagaimana seharusnya. Pengatur ini menghindari pengisian (*charge*) atau pengeluaran (*discharge*) baterai yang berlebihan, yang keduanya dapat mengurangi umur baterai. Kondisi pengisian baterai (*battery state of charge*) diukur berdasarkan pada tegangan sebenarnya dari baterai. Dengan informasi tegangan baterai dan tipe baterai yang digunakan, pengatur dapat mengetahui saat yang tepat di mana baterai akan mengalami *charge* atau *discharge* yang berlebihan.



Gambar 2.7 *Battery Charge Regulator*

Sumber: [http://www.powerbell.co.id/detail/Battery-Control-Regulator-\(-BCR-\)-10-A---12-V](http://www.powerbell.co.id/detail/Battery-Control-Regulator-(-BCR-)-10-A---12-V)

4. Inverter

Listrik yang dihasilkan oleh array panel surya dan baterai adalah arus searah yang tetap. Arus yang dihasilkan mungkin tidak sesuai dengan yang diperlukan oleh beban. Sebuah konverter arus searah ke arus bolak balik (inverter) mengubah arus

searah dari baterai menjadi arus bolak balik, dengan kehilangan daya selama konversi yang tidak besar.



Gambar 2.8 Inverter

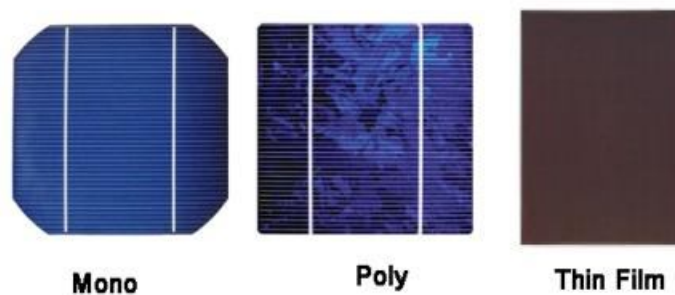
Sumber <http://3.bp.blogspot.com/>

5. Beban

Beban menggunakan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS seperti peralatan komunikasi nirkabel, lampu jalan, lampu penerangan rumah atau gedung, TV, radio, dan lain-lain.

2.2. Sel Surya

Secara harfiah, sel surya (photovoltaic cell) berasal dari dua kata photo dan volt, yang berarti cahaya tegangan listrik. Sel yang mengubah radiasi sinar matahari menjadi daya listrik disebut *photovoltaic cell* atau sel surya. Panel surya, merupakan suatu rangkaian yang terdiri atas beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri, atau paralel, atau kombinasi seri dan paralel. Untuk mendapatkan daya yang besar diperlukan banyak panel surya.



Gambar 2.9 Sel surya

Sumber: <http://www.solar-cell-panel.com/photovoltaic-panels-p-345.html>

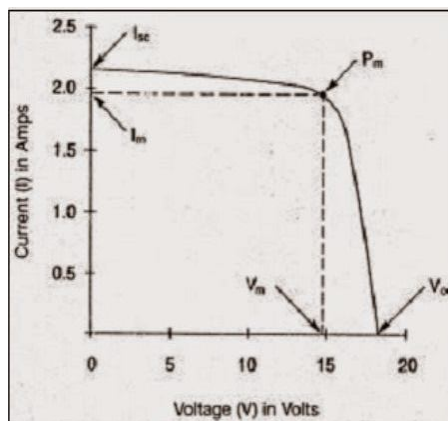
Sel surya adalah bahan semikonduktor yang dapat mengubah energi surya menjadi bentuk energi listrik. Sel surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silicon/pasir silikat (SiO_2) yang berperan sebagai insulator pada suhu rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sel surya terdiri dari kaca pelindung dari material adhesive transparan yang melindungi bahan sel surya terhadap lingkungan dan berupa material anti refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi cahaya yang dipantulkan. Sebuah sel surya akan menghasilkan tegangan listrik ± 0.5 Volt maksimal dan arus listrik sekitar 300 mA/cm^2 pada radiasi matahari $1 \text{ sun} = 1000 \text{ W/m}^2$.

Jenis sel surya yang terbaik saat ini adalah jenis monokristal yaitu kristal yang mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,9%. Efisiensi sel surya ini sekitar 16-25 %. Jenis lainnya adalah jenis polikristalin, yang terbuat dari kristal silikon yang dikembangkan karena mahalnya monokristal. Efisiensi sel surya polikristalin berkisar antara 14-16%. Jenis lainnya adalah silikon amorphous, yang berbentuk film (lapisan

tipis). Efisiensinya sekitar 9-10,4%. Sel surya jenis ini banyak dipakai di mainan anak-anak, jam dan kalkulator (Narayana, 2010).

Gambar 2.10 menggambarkan kurva daya sebuah sel surya yang beroperasi secara normal. Sel surya akan menghasilkan daya maksimum jika nilai tegangan (V_m) dan arus (I_m) maksimum. Besarnya daya dari sel surya terletak pada semua titik pada kurva dengan satuan Watt. Daya didapatkan dengan cara mengalikan tegangan dan arus listrik (Watt = Volt x Amper). Pada titik arus hubung singkat (I_{sc}), daya yang dihasilkan nol karena tegangannya sama dengan nol. Pada titik tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) daya listrik juga sama dengan nol karena nilai arus sama dengan nol. Nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) meningkat juga dengan peningkatan sinar matahari, sehingga memungkinkan sel surya untuk mengisi baterai.

Pada gambar 2.10 terlihat bahwa daya maksimum (P_m) terjadi pada saat tegangan 14,8 Volt dan arus 1,95 Ampere. Daya maksimum yang dihasilkan adalah 14,8 Volt dikalikan dengan 1,95 Ampere sama dengan 28,86 Watt.



Gambar 2.10 Kurva daya (Kurva VI)

Sumber: PV design assistance centre sandia national laboratory

Keterangan:

I_{sc} = Arus hubung singkat

V_m = Tegangan maksimum

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka

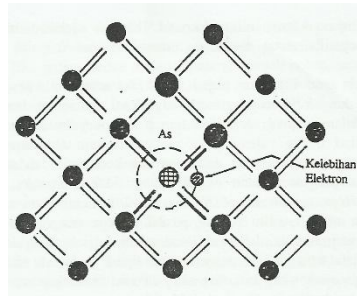
I_m = Arus maksimum

P_m = Daya maksimum

Kurva daya (Kurva VI) panel surya harus diukur pada kondisi standar intensitas cahaya matahari dan suhu panel surya, karena daya maksimum yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya matahari dan suhu panel surya.

2.2.1 Kerja Sel Surya

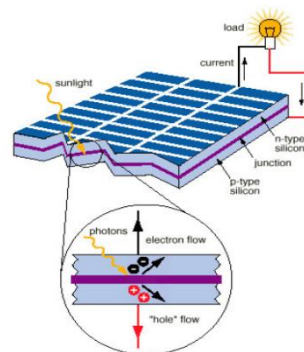
Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif (tipe-N) karena kristal silikon dimasukan atom arsenikum (As) yang memiliki lima elektron valensi dan jika atom arsenikum menempati suatu posisi struktural dalam kristal silikon akan kelebihan satu elektron sehingga terdapat elektron bebas dalam kristal silikon (gambar 2.11). Lapisan bawah bermuatan positif (tipe-P) karena kristal silikon dimasukan atom yang memiliki valensi tiga seperti boron dan galium sehingga terdapat satu lubang (*hole*) bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya.



Gambar 2.11 Kristal silikon dimasukkan satu atom arsenikum (As)

Sumber: Kadir, 2010

Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya, sambungan P-N dapat menghasilkan satu pasang elektron-lubang jika energi foton melebihi 1,1 eV sehingga daerah P akan memiliki muatan positif terhadap daerah N dan terdapat beda potensial antara kedua apitan. Elektron di daerah N memiliki kecenderungan untuk memasuki daerah P karena sifat elektron bergerak ke segala arah. Hal ini tidak dapat terjadi karena terdapat suatu perbedaan potensial antara tipe-N dan tipe-P dan hanya elektron yang memiliki energi besar yang dapat melewati halangan potensial itu. Halangan ini dapat diatasi dengan menggunakan suatu sumber tegangan dari luar untuk menurunkan tinggi halangan sehingga memungkinkan lebih banyak elektron untuk lewat. Adanya pergerakan elektron ini menyebabkan terjadinya arus listrik. (Kadir,2010)



Gambar 2.12 Konversi cahaya matahari menjadi listrik

Sumber: http://zanjuma.blogspot.com/2008_10_01_archive.html

2.2.2. Efisiensi Sel Surya

Kinerja antara satu sel dengan sel lainnya, umumnya dilihat dari efisiensinya. Banyaknya energi matahari dalam bentuk foton yang diserap sel surya menentukan efisiensinya. Efisiensi sel surya didefinisikan sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan adalah perkalian radiasi yang diterima dengan luasan dengan rumus:

$$G = I_r \times A \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

G = Daya yang diterima permukaan sel surya (W)

I_r = Radiasi matahari (W/m^2)

A = Luas permukaan (m^2)

Sedangkan untuk besarnya daya keluaran adalah perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Efisiensi pada sel surya adalah perbandingan daya yang dibangkitkan oleh sel surya dan daya masukan yang diperoleh dari sinar matahari.

$$\eta = \frac{Output}{Input} \times 100\%$$

sehingga efisiensi adalah:

$$\eta = \frac{P}{I_r \times A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- η = Efisiensi (%)
- I_r = Radiasi matahari (Watt/m²)
- P = Daya Listrik (Watt)
- A = Luas sel surya (m²)

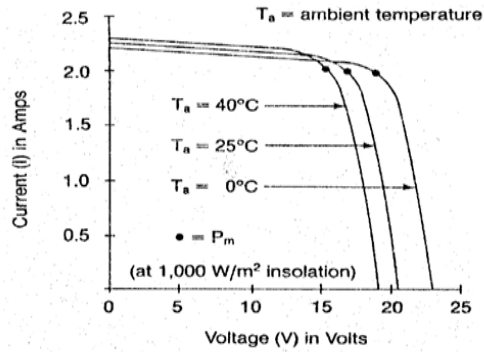
Bila diinginkan tegangan maupun arus yang lebih besar, maka sel surya dapat dirangkai secara seri, paralel atau kombinasi keduanya. Bila sel surya dirangkai secara seri maka tegangan akan naik dan bila dirangkai secara paralel maka arus akan naik.

2.2.3 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian maksimum sel surya sangat tergantung pada:

a. Suhu udara keliling

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika suhu sel tetap normal (pada 25^o C), kenaikan suhu lebih tinggi dari suhu normal pada sel surya akan menyebabkan tegangan (V_{oc}) berkurang. Setiap kenaikan suhu sel surya 1^o C (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0,4% dari daya yang dihasilkan dan akan menjadi separuhnya untuk menaikkan suhu sel sebesar 10^o C.



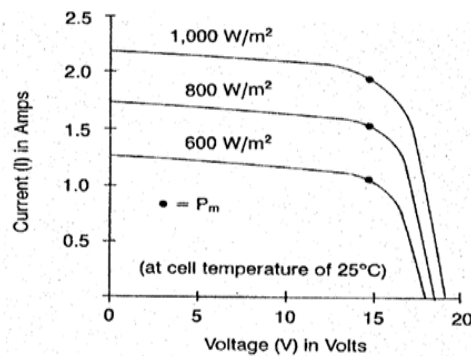
Gambar 2.13 *Effect of cell temperature on voltage (V)*

Sumber: PV design assistance centre Sandia National Laboratory 1991

Gambar 2.13 memperlihatkan kurva arus dan tegangan untuk suhu yang berbeda, yaitu 0° C, 25° C, dan 40° C pada radiasi matahari yang sama yaitu 1000 W/m². Tampak pada suhu yang meningkat energi yang dihasilkan akan berkurang.

b. Radiasi matahari

Radiasi matahari di berbagai lokasi di bumi bervariasi, dan tergantung pada spektrum matahari ke bumi. Radiasi matahari akan banyak berpengaruh pada arus (I) dan sedikit pada tegangan (gambar 2.14)



Gambar 2.14 *Effect of insolation intensity on current (I)*

Sumber: PV design assistance centre Sandia National Laboratory 1991

Gambar 2.14 memperlihatkan kurva arus dan tegangan pada radiasi matahari yang berbeda, yaitu 600 W/m^2 , 800 W/m^2 , 1000 W/m^2 dan pada suhu tetap yaitu 25°C .

c. Kecepatan tiupan angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi panel surya akan membantu pendinginan permukaan sel surya sehingga suhu dapat terjaga dikisaran 25°C .

d. Keadaan atmosfir bumi

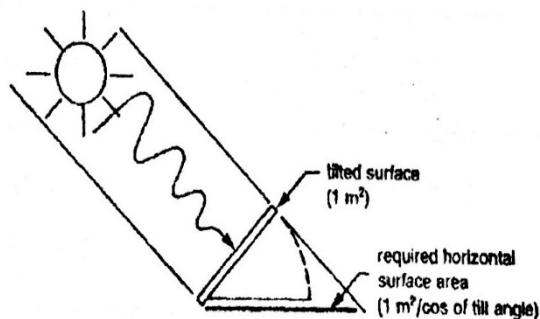
Keadaan atmosfir bumi berawan, mendung, kabut, adanya partikel debu, asap, uap air di udara, dan jenis polusi lainnya sangat menentukan besarnya arus listrik yang dihasilkan sel surya.

e. Orientasi panel surya kearah matahari

Orientasi dari panel surya kearah matahari penting untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain orientasi panel surya, orientasi sudut (*tilt angle*) dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang dihasilkan. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara bumi, maka panel surya diorientasikan ke selatan, dan sebaliknya. Jika panel surya diorientasikan ke barat atau ke timur, tidak akan dihasilkan energi yang maksimum.

f. Sudut orientasi matahari

Sinar matahari yang jatuh pada permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan radiasi matahari maksimum 1000 W/m^2 atau 1 kW/m^2 . Untuk mempertahankan ketegak lurus sinar datang matahari terhadap panel surya perlu pengaturan posisi panel surya, karena posisi matahari akan berubah tiap jam dalam sehari. Kalau tidak, akan diperlukan ekstra luasan panel surya.



Gambar 2.15 Ekstra luasan panel surya dalam posisi datar

Sumber: <https://geo.fis.unesa.ac.id>

Bumi membuat satu putaran lengkap sebesar 360° dalam waktu 24 jam. Jadi dalam waktu satu jam bumi berputar membentuk sudut sebesar 15° . Perputaran 1° akan menyebabkan waktu setempat bertambah sebanyak 4 menit. Pergerakan sudut matahari itulah yang menyebabkan adanya pergantian siang dan malam. Pergerakan matahari seperti itu sebenarnya bukanlah yang sebenarnya, yang sebenarnya terjadi adalah rotasi bumi pada porosnya selama sehari semalam.

2.3. Berbagai Keuntungan dan Kelemahan PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan suatu sistem yang menghasilkan listrik dari sinar matahari. Sinar matahari tersedia melimpah dan gratis. Berikut ini adalah keuntungan menggunakan PLTS, yaitu:

1. Sumber energi yang dipakai tidak pernah habis dan sangat ramah lingkungan.
2. Dapat dipakai dimana saja terutama di daerah yang belum terjangkau listrik.
3. Tidak memerlukan perawatan khusus sehingga bebas dari segala biaya perawatan.
4. Hemat karena tidak memerlukan bahan bakar dan bebas polusi.
5. Bersifat moduler artinya kapasitas listrik yang dihasilkan dapat sesuai dengan kebutuhan.
6. Dapat digunakan untuk lampu emergensi ketika aliran listrik PLN, ada pemadaman (listrik mati).
7. Tidak menghasilkan getaran ataupun suara yang dapat mengganggu pendengaran.
8. Ramah lingkungan serta pemasangannya sangat mudah.

Meskipun pembangkit listrik tenaga surya memiliki berbagai keuntungan, namun PLTS memiliki kelemahan. Berikut ini adalah kelemahan dari PLTS:

1. Memiliki ketergantungan pada cuaca. Saat mendung kemampuan panel surya menangkap sinar matahari tentu akan berkurang.
2. Rencana pembangunan PLTS dihadang sejumlah masalah. Masalah utama adalah besarnya biaya membangun pembangkit ini.

2.4 Manfaat Penggunaan PLTS

1. Mengatasi masalah listrik di daerah terpencil/pedalaman yang belum memiliki terjangkau listrik.
2. Digunakan di daerah yang mengandalkan penggunaan generator (genset). Hal ini semakin terasa penting dengan semakin mahalnya harga BBM maupun sulitnya distribusi dan kelangkaan solar di pasaran.
3. Mudah dipasang dan dipindahkan sesuai kebutuhan (*portable*)
4. Minim biaya pemeliharaan dan selanjutnya dapat dikelola sendiri.
5. Ramah lingkungan dan material yang digunakan tidak mengandung merkuri dan zat lain yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
6. Garansi 20-25 tahun untuk solar panel
7. 1 tahun untuk sistem
8. 2 tahun untuk lampu
9. 1 tahun untuk battery
10. Ketersediaan suku cadang, perawatan dan supervise
11. PLTS ini dapat bekerja 2 hari penuh dengan asumsi pemakaian 12 jam per hari dalam kondisi cuaca mendung.