



2.2 Pembangkit Listrik Terbaru dan Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari alam dan secara berkesinambungan dapat terus diproduksi tanpa harus menunggu waktu jutaan tahun layaknya energi berbasis fosil. Sumber alam yang dimaksud dapat berasal dari matahari, panas bumi (geothermal), angin, air (hydropower) dan berbagai bentuk dari biomassa. Sumber energi tersebut tidak dapat habis dan dapat terus. Selain dapat dipulihkan kembali, energi terbarukan diyakini lebih bersih (ramah lingkungan), aman, dan terjangkau masyarakat. Penggunaan energi terbarukan lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan di banding energi non-terbarukan.

Jenis sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang dimiliki Indonesia cukup banyak. Jika dikelola dan dimanfaatkan dengan baik diyakini dapat menggantikan energi fosil. Bentuk energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan terdiri dari; (1) panas bumi, (2) air, (3) angin, (4) matahari, dan (5) biomassa

2.2.1 Panas bumi

Energi panas bumi berasal dari peluruhan radioaktif di pusat Bumi, yang membuat Bumi panas dari dalam, serta dari panas matahari yang membuat panas permukaan bumi. Ada tiga cara pemanfaatan panas bumi:

- Sebagai tenaga pembangkit listrik dan digunakan dalam bentuk listrik
- Sebagai sumber panas yang dimanfaatkan secara langsung menggunakan pipa ke perut bumi
- Sebagai pompa panas yang dipompa langsung dari perut bumi



Panas bumi adalah suatu bentuk energi panas atau energi termal yang dihasilkan dan disimpan di dalam bumi. Energi panas adalah energi yang menentukan temperatur suatu benda. Energi panas bumi berasal dari energi hasil pembentukan planet (20%) dan peluruhan radioaktif dari mineral (80%). Gradien panas bumi, yang didefinisikan dengan perbedaan temperatur antara inti bumi dan permukaannya, mengendalikan konduksi yang terus menerus terjadi dalam bentuk energi panas dari inti ke permukaan bumi.²⁾

2.2.2 Air

Energi air digunakan karena memiliki massa dan mampu mengalir. Air memiliki massa jenis 800 kali dibandingkan udara. Bahkan gerakan air yang lambat mampu diubah ke dalam bentuk energi lain. Turbin air didesain untuk mendapatkan energi dari berbagai jenis reservoir, yang diperhitungkan dari jumlah massa air, ketinggian, hingga kecepatan air. Energi air dimanfaatkan dalam bentuk:

- Bendungan pembangkit listrik yang terbesar adalah *Three Gorges dam* di China.
- Mikrohidro yang dibangun untuk membangkitkan listrik hingga skala 100 kilowatt. Umumnya dipakai di daerah terpencil yang memiliki banyak sumber air.
- *Run-of-the-river* yang dibangun dengan memanfaatkan energi kinetik dari aliran air tanpa membutuhkan reservoir air yang besar.²⁾



2.2.3 Angin

Perbedaan temperatur di dua tempat yang berbeda menghasilkan tekanan udara yang berbeda, sehingga menghasilkan angin. Angin adalah gerakan materi (udara) dan telah diketahui sejak lama mampu menggerakkan turbin. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik. Energi yang tersedia dari angin adalah fungsi dari kecepatan angin; ketika kecepatan angin meningkat, maka energi keluarannya juga meningkat hingga ke batas maksimum energi yang mampu dihasilkan turbin tersebut. Wilayah dengan angin yang lebih kuat dan konstan seperti lepas pantai dan dataran tinggi, biasanya diutamakan untuk dibangun "ladang angin".²⁾

2.2.4 Matahari

Karena kebanyakan energi terbarukan berasal adalah "energi surya" istilah ini sedikit membingungkan. Namun yang dimaksud di sini adalah energi yang dikumpulkan secara langsung dari cahaya matahari.

Tenaga surya dapat digunakan untuk:

- Menghasilkan listrik menggunakan sel surya
- Menghasilkan listrik Menggunakan menara surya
- Memanaskan gedung secara langsung
- Memanaskan gedung melalui pompa panas
- Memanaskan makanan Menggunakan oven surya.
- Memanaskan air melalui alat pemanas air bertenaga surya



Tentu saja matahari tidak memberikan energi yang konstan untuk setiap titik di bumi, sehingga penggunaannya terbatas. Sel surya sering digunakan untuk mengisi daya baterai, di siang hari dan daya dari baterai tersebut digunakan di malam hari ketika cahaya matahari tidak tersedia.¹

2.2.5 Biomassa

Tumbuhan biasanya menggunakan fotosintesis untuk menyimpan tenaga surya, udara, dan CO₂. Bahan bakar bio (*biofuel*) adalah bahan bakar yang diperoleh dari biomassa - organisme atau produk dari metabolisme hewan, seperti kotoran dari sapi dan sebagainya. Ini juga merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Biasanya biomassa dibakar untuk melepaskan energi kimia yang tersimpan di dalamnya, pengecualian ketika biofuel digunakan untuk bahan bakar fuel cell (misal *direct methanol fuel cell* dan *direct ethanol fuel cell*). Biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar atau untuk memproduksi bahan bakar jenis lain seperti biodiesel, bioetanol, atau biogas tergantung sumbernya. Biomassa berbentuk biodiesel, bioetanol, dan biogas dapat dibakar dalam mesin pembakaran dalam atau pendidih secara langsung dengan kondisi tertentu.

Bahan bakar bio cair

Bahan bakar bio cair biasanya berbentuk bioalkohol seperti metanol dan biodiesel. Biodiesel dapat digunakan pada kendaraan diesel modern dengan sedikit atau tanpa modifikasi dan dapat diperoleh dari limbah sayur dan minyak hewani serta lemak. Tergantung potensi setiap daerah, jagung, gula bit, tebu, dan beberapa jenis rumput dibudidayakan untuk menghasilkan bioetanol. Sedangkan biodiesel dihasilkan dari tanaman atau hasil tanaman yang mengandung minyak (kelapa sawit, kopra, biji jarak, alga) dan telah melalui berbagai proses seperti esterifikasi.

² https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_terbarukan#Energi_panas_bumi



Biomassa padat

Penggunaan langsung biasanya dalam bentuk padatan yang mudah terbakar, baik kayu bakar atau tanaman yang mudah terbakar. Tanaman dapat dibudidayakan secara khusus untuk pembakaran atau dapat digunakan untuk keperluan lain, seperti diolah di industri tertentu dan limbah hasil pengolahan yang bisa dibakar dijadikan bahan bakar.

Pembuatan briket biomassa juga menggunakan biomassa padat, di mana bahan bakunya bisa berupa potongan atau serpihan biomassa padat mentah atau yang telah melalui proses tertentu seperti pirolisis untuk meningkatkan persentase karbon dan mengurangi kadar airnya. Biomassa padat juga bisa diolah dengan cara gasifikasi untuk menghasilkan gas.

2.3 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang berupa sinar dan panas dari matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan serangkaian teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaik surya, listrik panas surya, arsitektur surya, dan fotosintesis buatan. Teknologi energi surya secara umum dikategorikan menjadi dua kelompok, yakni teknologi pemanfaatan pasif dan teknologi pemanfaatan aktif. Pengelompokan ini tergantung pada proses penyerapan, perubahan, dan penyaluran energi surya. Contoh pemanfaatan energi surya secara aktif adalah penggunaan panel fotovoltaik dan panel penyerap panas. Contoh pemanfaatan energi surya secara pasif meliputi mengarahkan bangunan ke arah matahari, memilih bangunan dengan massa termal atau kemampuan dispersi cahaya yang baik, dan merancang ruangan dengan sirkulasi udara alami.

Pada tahun 2011, Badan Energi Internasional menyatakan bahwa “perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, dan bersih akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber



energi yang sudah ada, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor, meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah dari sebelumnya. Oleh sebab itu, biaya insentif tambahan untuk pengembangan awal selayaknya dianggap sebagai investasi untuk pembelajaran; inventasi ini harus digunakan secara bijak dan perlu dibagi bersama.²

2.3.1 Radiasi Surya

Matahari adalah sumber energy utama yang memancarkan energy yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Radiasi surya merupakan gelombang elektromagnetik, berasal dari proses fusi nuklir yang mengubah hydrogen menjadi helium. Permukaan surya bersuhu 6000K. Bagian dalamnya bersuhu jutaan derajat kelvin. Radiasi yang dipancarkan berupa gelombang elektromagnetik sebesar 75.3 juta watt/m². Jarak rata surya sampai ke bumi 150 juta km, radiasi yang mencapai puncak atmosfer 1360 W/m². 50% energinya sampai ke permukaan bumi, 30% nya dipantulkan kembali ke angkasa 150jt km 75.3 jt w 1360 50% 30%.

Penerimaan radiasi surya ke permukaan bumi tergantung pada:

1. Tempat : Letak lintang dan keadaan awan
2. Waktu : Sehari (Pagi-Sore) , Musiman (Hari/Hari), Spektrum Surya (Mikro meter), Sinar Kosmos (10-10-10-6), Ultra Violet (10-2-101) , Cahaya tampak , Infra red (101-103), Gelombang Radio (103-1010)

Faktor yang mempengaruhi penerimaan radiasi surya dipermukaan bumi yaitu :

³ https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_surya



1. Jarak dari matahari ke bumi, bumi mengelilingi matahari (revolusi) dengan lintasan yang elips, perubahan jarak menimbulkan variasi penerimaan radiasi surya.
2. Panjang hari dan sudut datang selain atmosfer penerimaan radiasi surya disebabkan 0 sudut jatuh. Sinar jatuh dengan posisi miring, memberikan lebih sedikit energy radiasi karena lapisan atmosfer menjadi lebih tebal dan banyak sinar yang dipantulkan. Sudut datang sinar matahari tergantung pada letak lintang dengan musim. Panjang hari disebabkan 0 letak lintang (latitude), akibat terjadi perbedaan periode penerimaan radiasi surya Indonesia terletak di ekuator mengalami perbedaan panjang hari/sudut jatuh yang kecil
3. Pengaruh atmosfer bumi, atmosfer sebagai pelindung dari radiasi surya yang sifatnya merusak, energy surya akan mengalami pengurangan energi oleh molekul molekul atmosfer.³

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.⁴

⁴ <https://www.slideshare.net/ganjarramadhan35/radiasi-surya-45843221>

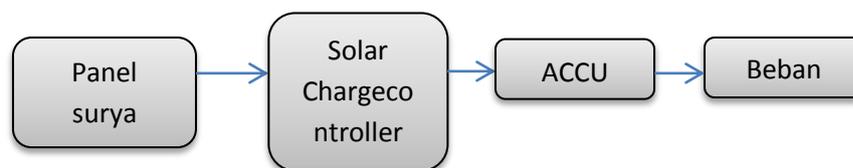
⁵ https://id.wikipedia.org/wiki/Pembangkit_listrik_tenaga_surya



Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dengan jumlah yang tidak terbatas diambil dari matahari.

Keunggulan terpenting dari penggunaan PLTS adalah:

1. Tergolong kedalam sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan
2. Tidak memerlukan biaya perawatan dan biaya operasi
3. Memiliki umur teknis lebih dari 30 tahun



Gambar 2.1 Diagram Blok Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sumber: <http://armand10dma.blogspot.co.id/2011/08/perencanaan-kebutuhan-sistem-plts.html>

Berdasarkan gambar diatas, dapat dijelaskan fungsi masing-masing blok diagram sebagai berikut: (a) panel Surya adalah komponen PLTS yang fungsinya merubah cahaya matahari menjadi energi listrik, (b) solar charge controller adalah komponen PLTS yang fungsinya mengatur pengisian arus ke baterai dan mengatur arus yang diambil dari baterai ke beban, (c) baterai adalah komponen PLTS yang fungsinya sebagai penyimpan tenaga listrik arus searah (DC) dari tenaga surya sebelum dimanfaatkan untuk beban.



2.5 Sel Surya (Solar Cell)

Sel surya atau sel photovoltaic, adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah-besar diode p-n junction, di mana, dalam hadirnya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna. Pengubahan ini disebut efek photovoltaic. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai photovoltaics. Sel surya memiliki banyak aplikasi. Mereka terutama cocok untuk digunakan bila tenaga listrik dari grid tidak tersedia, seperti di wilayah terpencil, satelit pengorbit bumi, kalkulator genggam, pompa air, dll.

Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung di mana mereka berhubungan dengan inverter ke grid listrik dalam sebuah pengaturan net metering. Banyak bahan semikonduktor yang dapat dipakai untuk membuat sel surya diantaranya Silikon, Titanium Oksida, Germanium, dll. Sel surya digambarkan sebagai fotovoltaiik, terlepas dari apakah sumbernya adalah sinar matahari atau cahaya buatan. Mereka digunakan sebagai Sensor cahaya (misalnya detektor inframerah), mendeteksi cahaya atau lainnya radiasi elektromagnetik di dekat kisaran terlihat, atau mengukur intensitas cahaya.⁵

Operasi dari sebuah sel fotovoltaiik (PV) membutuhkan tiga atribut dasar:

- Penyerapan cahaya, menghasilkan baik elektron - hole pasangan atau excitons .
- Pemisahan pembawa muatan dari jenis yang berlawanan.
- Ekstraksi terpisah dari orang-orang operator untuk sirkuit eksternal.

Sebaliknya, kolektor panas matahari memasok panas dengan menyerap sinar matahari, untuk tujuan baik pemanasan langsung atau pembangkit tenaga listrik langsung dari panas. Sebuah "photoelectrolytic sel" (sel fotoelektrokimia), di sisi lain, mengacu baik untuk jenis sel fotovoltaiik (seperti yang dikembangkan

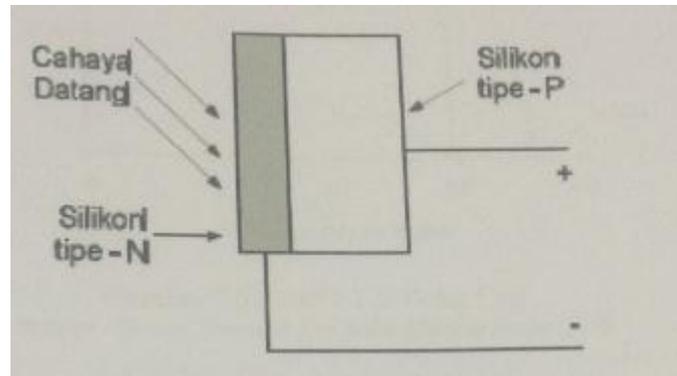
⁶ (https://id.wikipedia.org/wiki/Sel_surya)



oleh Edmond Becquerel dan modern dye-sensitized solar sel), atau ke perangkat yang membagi air langsung menjadi hidrogen dan oksigen hanya menggunakan penerangan surya. Modul surya adalah kumpulan dari beberapa sel surya atau disebut juga dengan devais semikonduktor dengan large areayang mengkonversi energi matahari langsung menjadi energi listrik. Modul PV individu menghasilkan arus listrik searah (DC), dan tersedia dengan ukuran 10 – 300 Watt, Daya keluaran PV ini, bergantung dari intensitas cahaya matahari (W/m^2), temperatur operasi modul, dan faktor-faktor lain.

Panel surya merupakan gabungan dari beberapa modul surya dan merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi penyinaran matahari yang diubah menjadi arus listrik. Energi matahari sesungguhnya merupakan sumber energi yang menjanjikan mengingat sifatnya terus menerus serta jumlahnya yang besar dan melimpah ketersediannya. Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi atau memecahkan permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan.

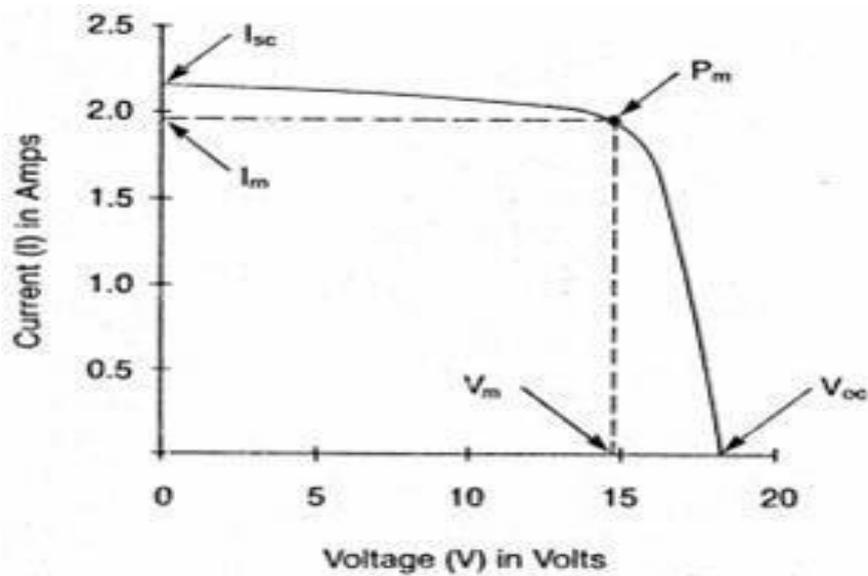
Panel surya juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis dan ramah lingkungan mengingat tidak membutuhkan transmisi seperti jaringan listrik konvensional, karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. (Siahaan dkk, 2012 : 1-2) . Sel surya ini biasanya berbentuk diode pertemuan P-N yang memiliki luas penampang tertentu. Semakin luas permukaan atau penampang sel, semakin besar arus yang akan diperoleh. Satu sel surya dapat menghasilkan beda potensial sebesar 0,5V DC (dalam keadaan cahaya penuh). Beberapa sel dapat di deretkan guna memperoleh tegangn 6,9,12,24 dan seterusnya. Sel surya dapat pula dijjajarkan guna memperoleh arus keluaran lebih besar. Bahan dasr dri sel surya adalah silikon, dimana fosfor digunakan untuk memperoleh bahan tipe—p. Untuk struktur dari sel surya dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur Solar Cell

Sebuah sel surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar $\pm 0,5$ volt maksimal dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ sun}$ yang akan menghasilkan arus listrik sekitar 30mA/cm^2 per sel surya. 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.



Gambar2.3 Grafik I-V Solar Cell

Sumber <http://www.musbikhin.com/solar-cell>

Keterangan:

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

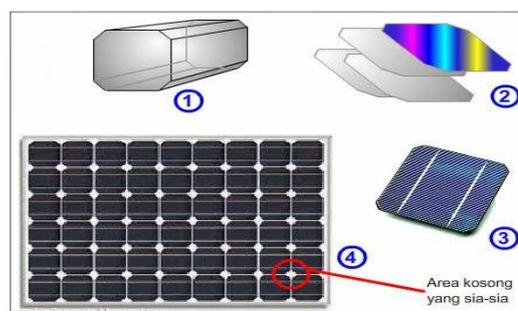


2.5.1 Jenis-jenis sel surya

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. Kira-kira hampir sama seperti pembuatan keripik singkong. Satu singkong diiris tipis-tipis, untuk menghasilkan kepingan-kepingan keripik yang siap digoreng. (Ah...jadi ngilerrrr ingat keripik singkong). Itu singkong yang mudah diiris tipis-tipis, beda dengan 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. 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, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Panel Surya Monocrystalline

Sumber: <http://sanfordlegenda.blogspot.co.id/2013/10/Solar-cells-Jenis-jenis-sel-surya.html>



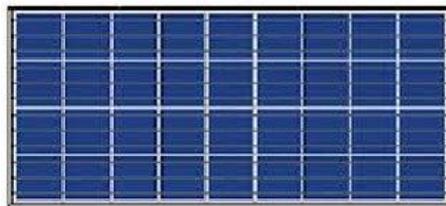
Keterangan:

1. Batang Kristal silikon murni
2. Irisan Kristal silikon murni
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.

2. Polycrystalline

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur / dicairkan kemudian dituangkan dalam cetakan yang berbentuk persegi. 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. Proses pembuatannya lebih mudah dibanding monocrystalline, karenanya harganya lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini.



Gambar 2.5 Panel Surya Polycrystalline

Sumber: <http://sanfordlegenda.blogspot.co.id/2013/10/Solar-cells-Jenis-jenis-sel-surya.html>



c. 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*).



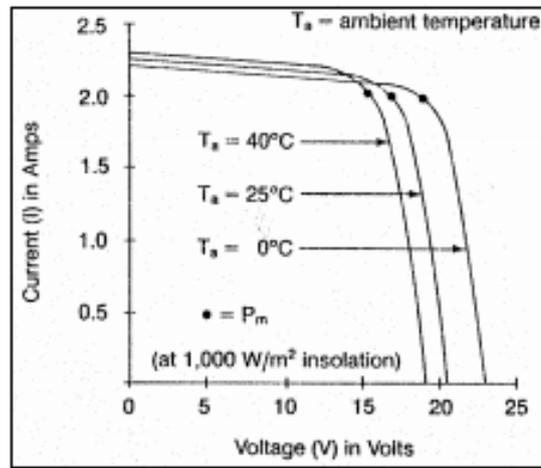
Gambar 2.6 Thin Film Solar Cell (TFSC)

2.6 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian maximum sel surya sangat tergantung pada:

2.6.1 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.

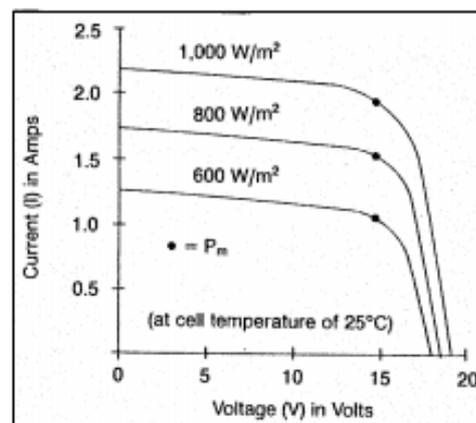


Gambar 2.7 Effect Of Cell Temperature On Voltage (V)

Sumber: Strong, Steven J, *The Solar Electric House*, p.58

2.6.2 Radiasi Solar Matahari

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada arus (I) sedikit pada tegangan. (lihat gambar diagram)



Gambar 2.8 Effect Of Insolation Intensity On Current (I)

Sumber: Strong, Steven J, *The Solar Electric House*, p.58



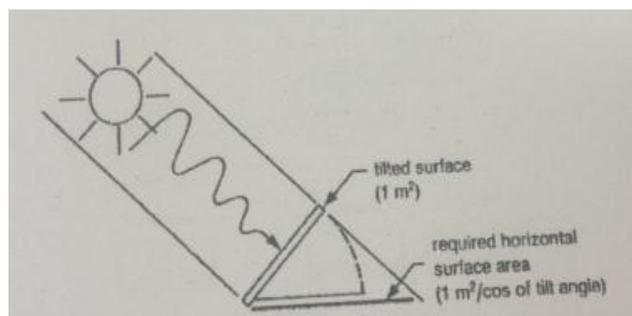
- 2.6.3 Kecepatan tiap angin disekitar lokasi PV dapat membantu mendinginkan permukaan temperature kaca-kaca PV.
- 2.6.4 Keadaan atmosfer bumi-berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, Uap air udara(Rh), kabu dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.
- 2.6.5 Orientasi dari rangkaian PV ke arah matahari secara optimum

Orienasi dari rangkaian PV kearah matahari secara optimum adalah peting 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 Timur-Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energy matahari optimum.

- 2.6.6 Sudut orientasi matahari

Sudut orientasi matahari mempertahankan sinar matahari jatuh kesebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energy maximum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 Kw/m^2 . Kalau tidak dapatmempertahankan ketegak lurusan 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).



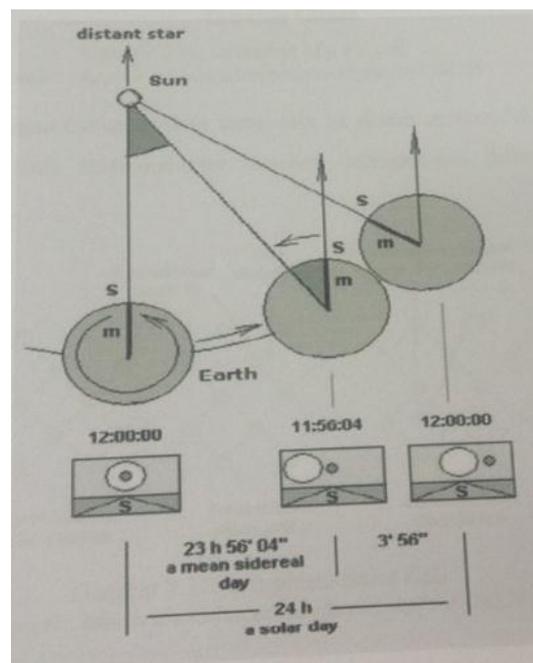
Gambar 2.9 Extra Luasan Panel PV dalam Posisi datar

Sumber: Strong, Steven J, *The Solar Electric House*, p.66



Solar panel PV pada equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle=0) akan menghasilkan energy maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda haru dicarikan “tilt angle” yang optimum. Perusahaan BP solar telah mengembangkan sebuah software untuk menghitung & memperkirakan energy optimum dengan letak latitude, longitude, dan optimum tilt angle untuk setiap lokasi diseluruh dunia.

Bumi membuat suatu putaran lengkap 360° dalam waktu 24 jam atau sehari. Jadi dalam waktu satu jam bumi berputar membentuk sudut sebesar 15° putaran 1° akan menyebabkan waktu tempatan bertambah sebanyak 4 menit. Pergerakan sudut matahari itulah yang menyebabkan adanya pergantian siang dan malam. Perjalanan matahari seperti itu sebenarnya bukanlah gerak matahari yang sebenarnya akan tetapi terjadi akibat adanya perputaran bumi pada porosnya (rotasi) selama sehari semalam.



Gambar 2.10 Perputaran sudut bumi terhadap matahari selama 24 Jam (360°)



2.7 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Komponen-komponen yang diperlukan untuk instalasi listrik tenaga surya, terdiri dari:

2.7.1. Panel surya / solar panel

Solar panel / panel surya mengkonversikan tenaga matahari menjadi listrik. Sel silikon (disebut juga solar cells) yang disinari matahari/ surya, membuat photon yang menghasilkan arus listrik. Sebuah solar cells menghasilkan kurang lebih memiliki tegangan 0.5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum).

Umumnya kita menghitung maksimum sinar matahari yang diubah menjadi tenaga listrik sepanjang hari adalah 5 jam. Tenaga listrik pada pagi – sore disimpan dalam baterai, sehingga listrik bisa digunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari.



Gambar 2.11 Panel Surya

2.7.2. Solar charge controller

Solar charge controller berfungsi mengatur lalu lintas dari solar cell ke baterai dan beban. Alat elektronik ini juga mempunyai banyak fungsi yang pada dasarnya ditujukan untuk melindungi baterai.



Gambar 2.12 Solar Charge Controller

2.7.3 . Baterai

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban. Beban dapat berupa lampu penerangan atau peralatan elektronik lainnya yang membutuhkan listrik. ⁹⁾



Gambar 2.13 Baterai

Instalasi pembangkit listrik dengan tenaga surya membutuhkan perencanaan mengenai kebutuhan daya:

- Jumlah pemakaian
- Jumlah solar panela



2.7.4 Lampu DC 12 V

Lampu DC terbuat dari rangkaian LED, semua telah mengetahui bahwa lampu LED tersebut terkenal hemat energi dan awet.

Kelebihan penerangan DC :

- a. Hemat Energi karena menggunakan lampu LED
- b. Instalasi aman walau dengan menyalakan listrik, karena tegangan hanya 12 volt
- c. Lampu DC lebih terang dan tidak panas
- d. Lampu DC tidak mengandung merkuri sehingga ramah lingkungan
- e. Lebih awet dan tahan lama

Kekurangan sebagai berikut:

- a. Biasanya awal mahal karena harus membeli komponen dan trafo yang besar
- b. Harga lampu DC lebih mahal dibanding lampu AC
- c. Tidak semua toko listrik menjual lampu DC 12 volt

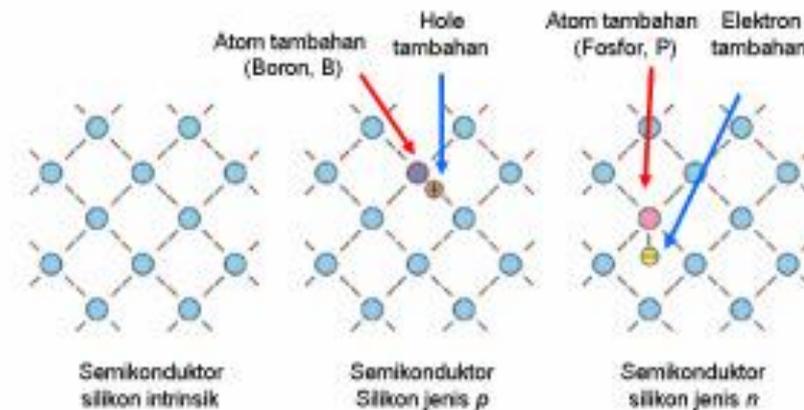
2.8 Konversi Energi

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas *dua* jenis semikonduktor; yakni jenis *n* dan jenis *p*.

Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (*n* = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan *p* (*p* = positif) karena kelebihan muatan positif. Caranya, dengan menambahkan unsur



lain ke dalam semikonduktor, maka kita dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut, sebagaimana diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.14 Semikonduktor jenis p-n

Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami (disebut dengan semikonduktor intrinsik) ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau hole dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor.

Misal semikonduktor intrinsik yang dimaksud ialah silikon (Si). Semikonduktor jenis *p*, biasanya dibuat dengan menambahkan unsur boron (B), aluminum (Al), gallium (Ga) atau Indium (In) ke dalam Si. Unsur-unsur tambahan ini akan menambah jumlah hole. Sedangkan semikonduktor jenis *n* dibuat dengan menambahkan nitrogen (N), fosfor (P) atau arsen (As) ke dalam Si. Dari sini, tambahan elektron dapat diperoleh. Sedangkan, Si intrinsik sendiri tidak mengandung unsur tambahan. Usaha menambahkan unsur tambahan ini disebut dengan *doping* yang jumlahnya tidak lebih dari 1 % dibandingkan dengan berat Si yang hendak di-*doping*.



Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan $p-n$ atau dioda $p-n$ (istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi / *metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

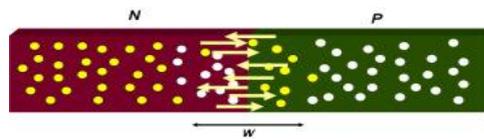
1. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



Gambar 2.15 Semikonduktor jenis p dan n

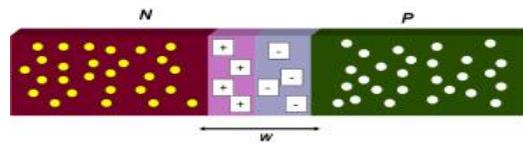
2. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p , dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor n .

Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dibatas sambungan awal.



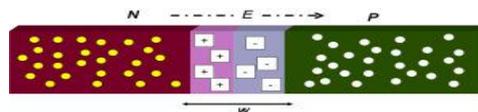
Gambar 2.16 Semikonduktor jenis p dan disambung

3. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan positif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.



Gambar 2.17 Semikonduktor jenis p dan n setelah disambung

4. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
5. Baik elektron maupun hole yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.
6. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n . Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi (nomor 1 di atas).



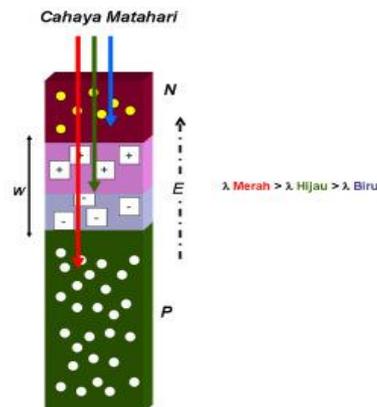
Gambar 2.18 Medan listrik internal E pada semikonduktor jenis p dan n

7. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada *titik setimbang*, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E . Begitu pula dengan jumlah electron



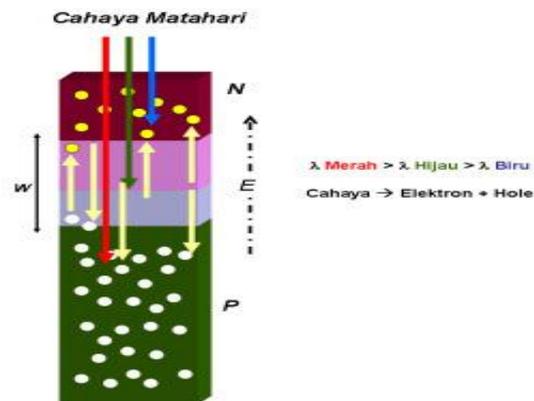
yang berpindah dari semikonduktor n ke p , dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E . Dengan kata lain, medan listrik E mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain.

Pada sambungan $p-n$ inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p , sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p .



Gambar 2.19 Proses cahaya matahari masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n , daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*electron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

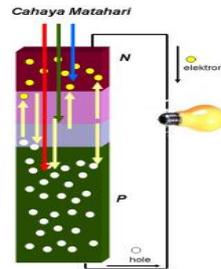


Gambar 2.20 Terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lambda” sbgn di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula.

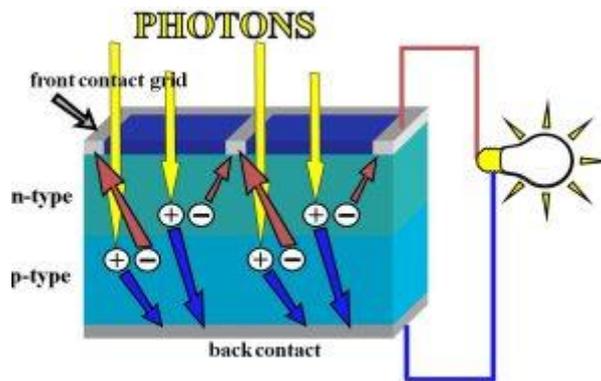
Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n .

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n , begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p . Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



Gambar 2.21 Arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.

Pada umumnya, untuk memperkenalkan cara kerja sel surya secara umum, ilustrasi di bawah ini menjelaskan segalanya tentang proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik.



Gambar 2.22 Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik

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 λ , frekuensi f , dan kecepatan c , sehingga

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



Dimana :

f : Frekuensi (Hz)

λ : 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 :

$$1 \text{ Lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$$

$$1 \text{ Lumen} = 0,0015 \text{ Watt}$$

Dari satuan konversi diatas maka dapat dicari berapa energi surya yang diterima oleh panel surya darisinar matahari.



2.9 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^2)

A = Luas permukaan sel surya (m^2)

Besar daya keluaran sel surya (P_{out}) 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

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

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})

$$FF = \frac{V_{oc} - I_n (V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

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



2.10 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.

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 elektrostatik yang mengelilingi objek yang bermuatan tersebut. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk melakukan kerja akibat tarikan atau tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatiknya.



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.

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

dengan: P = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)

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

dengan

Prerata = Daya rata-rata (Watt)

P₁ = Daya pada titik pengujian ke satu

P₂ = Daya pada titik pengujian ke dua

P_n = Daya pada titik pengujian ke n

2.11 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 didalamnya. Efisiensi keluaran maksimum (η) didefinisikan sebagai presentase keluaran daya optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai berikut (Amalia,Satwiko, 2010 :160) :



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

η = Efisiensi sel surya (%)

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

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