

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Perkembangan ketersediaan dan permintaan akan ketenagalistrikan Indonesia pada tahun ketahun terus meningkat. Maka dibutuhkan solusi untuk meningkatkan kebutuhan ketenagalistrikan di Indonesia yang selama ini masih dominan menggunakan energi bahan bakar fosil, Khususnya batu bara dan minyak yang memiliki tingkat polusi yang tinggi dan semakin lama semakin menipis cadangannya oleh karena itu diperlukan energi alternatif yang dapat mengurangi ketergantungan akan pemakaian energi bahan bakar energi fosil. Dengan menggunakan energi alternatif yang lebih kecil tingkat polusinya dan melimpah cadangan.

2.2 Cadangan Energi Terbarukan

Sebenarnya Indonesia memiliki cadangan energi terbarukan yang besar. Oleh karena itu, Sumber-sumber energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga listrik. Dengan semakin menipisnya cadangan energi fosil dengan besarnya kebutuhan energi yang diperlukan, pemakaian energi fosil telah menjadi salah satu penyebab terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim. Oleh karena itu, sumber-sumber energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga listrik.

Energi terbarukan merupakan energi alternatif yang dapat digunakan untuk pembangkitan listrik di Indonesia karena energi terbarukan bersifat lestari dan

berkesinambungan, dapat memperbarui dirinya sendiri sehingga pemanfaatannya bersifat terus menerus.

Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber alam. Konsep energi terbarukan mulai dikenal pada tahun 1970-an, sebagai upaya untuk mengimbangi pengembangan energi berbahan bakar fosil yang semakin menipis cadangannya, sementara menunjukkan tingkat pemakaian yang semakin meningkat.

Selama di Indonesia masih terlalu bergantung pada energi minyak dan batubara yang berbasis fosil, padahal untuk minyak bumi diperkirakan cadangan minyak nasional akan habis dalam jangka waktu 12 tahun lagi jika tidak ada penemuan baru. Dengan kondisi seperti ini maka Indonesia sungguh-sungguh akan menjadi negara pengimpor minyak. Begitu pula dengan gas bumi dan batubara, yang juga termasuk energi fosil jika dilakukan eksplorasi terus menerus maka akan habis cadangannya.

2.3 Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atas Matahari atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya yang sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai “cahaya listrik”. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi Matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

2.4 Konversi Energi Matahari Menjadi Energi Listrik

Matahari merupakan sumber energi terbesar di dunia. Energi dari sinar matahari dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari, yaitu dengan mengumpulkan panas sinar matahari dan menyalurkannya ke siklus termodinamika untuk menghasilkan energi listrik. Namun cara ini rumit dan memerlukan biaya yang besar. Metode yang lain adalah dengan mengubah secara langsung energi matahari menjadi energi listrik melalui sel surya

Konversi energi matahari menjadi listrik secara langsung dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *photoelectric*, *thermoelectric*, dan *thermionic*.

2.4.1 *Photoelectric*

Konversi secara langsung ini didasarkan pada efek fotolistrik. Dasar dari efek fotolistrik adalah pelepasan elektron ketika energi foton diserap oleh material tertentu. Material yang digunakan umumnya semikonduktor.

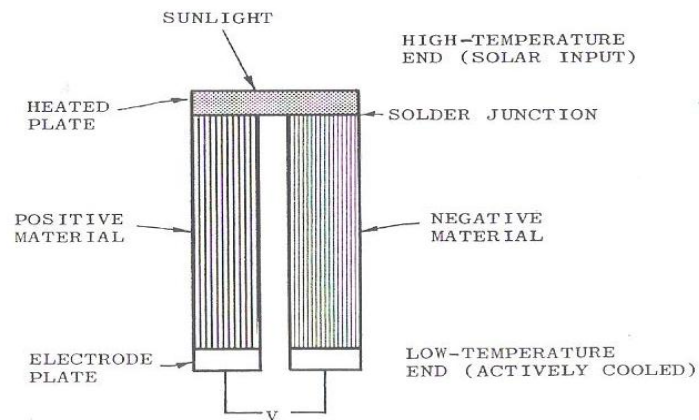
Sel surya yang menggunakan efek fotolistrik memerlukan medan listrik yang dihasilkan sendiri. Medan ini dapat dihasilkan dengan membentuk *junction* diantara bahan semikonduktor yang berbeda tipe. *Junction* ini menyebabkan elektron bergerak ke satu arah dan *hole* ke arah sebaliknya. Jika konduktor dihubungkan pada permukaan sel surya, arus akan mengalir.

2.4.2 Thermoelectric

Listrik yang dihasilkan pada sel surya thermoelectric berasal dari tegangan yang timbul pada sambungan dua logam yang berbeda dimana sambungan yang satu memiliki temperatur yang berbeda dengan sambungan yang lain. Kemampuan logam untuk menghasilkan tegangan ini disebut koefisien Seebeck.

Sel *thermoelectric* memerlukan temperatur yang tinggi. Tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan perbedaan temperatur antara sambungan panas dan sambungan dingin. Gambar 2.1 menunjukkan konfigurasi dasar dari *thermoelectric*. Energi panas dari sinar matahari diserap oleh pelat yang menjadi sambungan dua material *thermoelectric*. Salah satu sisi sambungan adalah logam yang memiliki *koefisien Seebeck* dengan nilai senegatif mungkin, sementara sisi yang lain sepositif mungkin, untuk menghasilkan perbedaan yang paling besar. Ujung logam tersebut kemudian dihubungkan dengan pelat elektrode (komponen dingin).

Kesulitan dari *thermoelectric* adalah bagaimana membuat perbedaan temperatur yang besar antara sambungan panas dan dingin, tetapi tetap menjaga sambungan itu agar tetap dekat. Kesulitan dalam hal teknis dan biaya yang mahal menjadikan sel ini tidak banyak digunakan dalam konversi energi surya. Efisiensinya juga rendah. Berkisar antara 1,8% pada beda temperatur 195°C dan 2,5% pada beda temperatur 350°C.

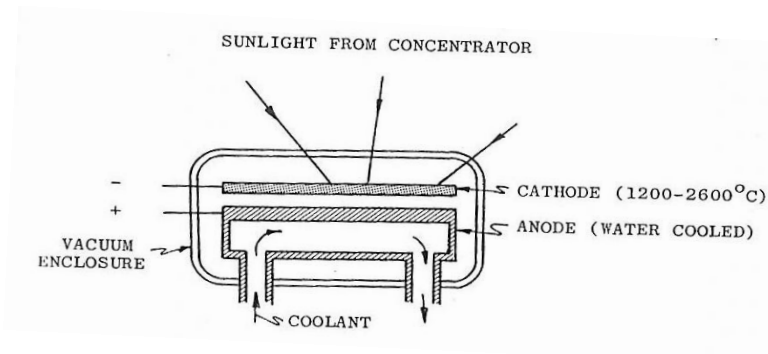


Gambar 2.1 Konfigurasi *thermoelectric*

(sumber : Meinel, Aden B. Dan Marjorie P. Meinel, *Applied Solar Energy An Introduction*, p.545)

2.4.3 Thermionic

Permukaan logam yang dipanaskan dalam ruang hampa akan memancarkan elektron, membentuk ruang muatan di sekitar permukaan yang dipanaskan. Jika sebuah pelat logam yang lain dengan temperatur yang lebih rendah ditempatkan dalam ruang hampa yang sama, arus listrik akan mengalir dari pelat yang panas ke pelat yang dingin. Sel *thermionic* merupakan tabung hampa yang didesain untuk memaksimalkan efek ini sehingga diperoleh daya yang cukup memadai.



Gambar 2.2 Diagram skematik sel surya *thermionic*

(sumber : Meinel, Aden B. Dan Marjorie P. Meinel, *Applied Solar Energy An Introduction*, p.548)

Kendala dalam pembuatan sel surya ini adalah temperatur yang tinggi dibutuhkan untuk menghasilkan kadar pancaran elektron per sentimeter kuadrat yang tinggi. Berkisar antara 2000°C - 2700°C untuk logam murni dan diatas 1200° ketika atom yang mudah terionisasi seperti cesium ditambahkan ke ruang hampa.

Jarak antara katode dan anode umumnya sangat kecil, tetapi perpindahan panas yang tinggi pada celah yang kecil berakibat pada sulitnya memperoleh perbedaan temperatur yang besar antara katode dan anode. Perbedaan temperatur yang besar diperlukan untuk memperoleh arus yang maksimal.

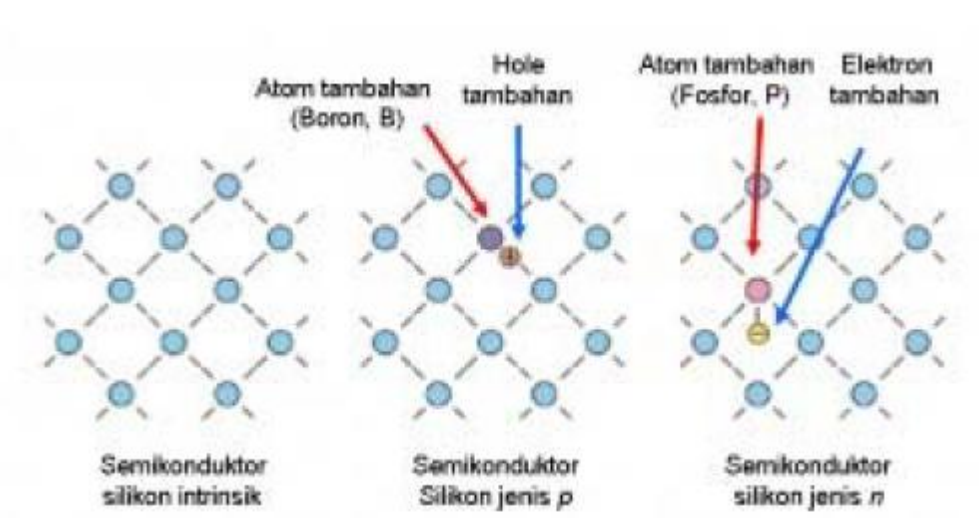
Karena temperatur kerjanya yang tinggi, sel surya *thermionic* memerlukan konsentrasi penyinaran yang tinggi. Untuk itu diperlukan cermin parabolik dengan keakuratan optik yang tinggi sebagai pengumpul sinar (*collector*). Biaya untuk *collector* serta memerlukan ruang hampa menyebabkan biaya untuk sel *thermionic* jadi sangat mahal.

Dari ketiga jenis sel surya tersebut yang paling banyak dikembangkan adalah jenis *photoelectric*, karena lebih sederhana dan biayanya lebih murah. Sel *photoelectric* dikenal juga dengan sebutan *Photovoltaic*. *Photovoltaic* merupakan komponen utama dari Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS), yang dapat merubah energi cahaya (foton) menjadi energi listrik.

2.5 Photovoltaic

Kata *Photovoltaic* berasal dari dua kata, yaitu "*photo*" dan "*volt*". *Photo* adalah kata dari bahasa Yunani yang berarti cahaya, sedangkan *volt* adalah satuan dari tegangan listrik. Jadi *photovoltaic* dapat diartikan sebagai pembangkitan energi listrik dari energi cahaya.

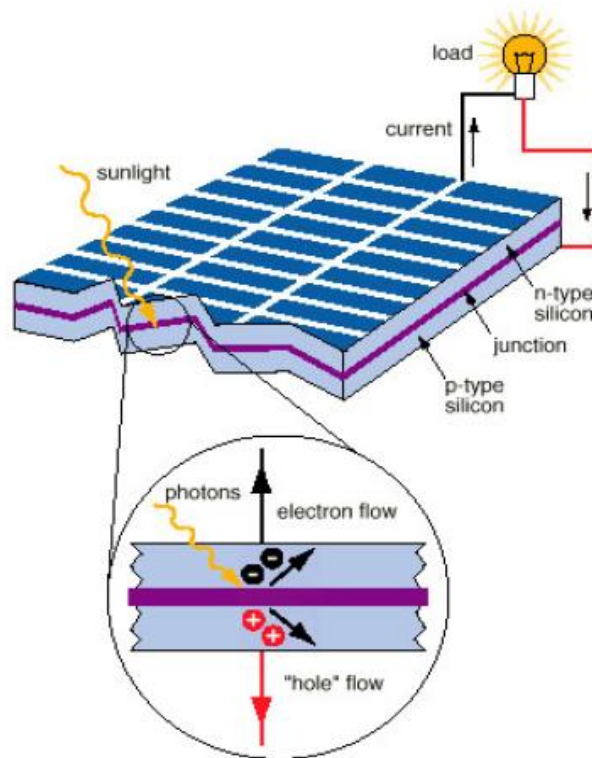
Bagian utama dari sistem *photovoltaic* adalah sel surya (*solar cell*). Bagian inilah yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. *Solar cell* terbuat dari bahan semikonduktor yang memiliki dua lapisan tipis, yaitu tipe-p (positif) dan tipe-n (negatif). Bahan semikonduktor yang sering digunakan oleh sel *photovoltaic* adalah silikon. Silikon tipe-p dihasilkan dengan cara menambahkan unsur yang memiliki elektron valensi yang lebih rendah, seperti *Boron* yang mengakibatkan lapisan tersebut kekurangan elektron bebas. Silikon tipe-n dihasilkan dengan cara menambahkan unsur yang memiliki elektron valensi yang lebih tinggi, seperti *Phosphorus* yang mengakibatkan lapisan tersebut kelebihan elektron bebas. Usaha menambahkan unsur tambahan ini disebut *doping*. *Doping* dilakukan dengan jumlah tidak lebih dari 1% dari berat silikon yang akan di-*doping*.



Gambar 2.3 Ilustrasi penambahan unsur lain untuk membentuk semikonduktor tipe-p dan tipe-n

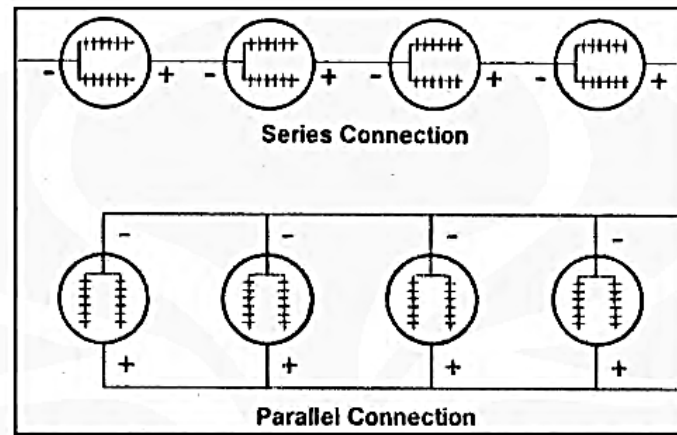
Untuk keperluan sel surya, semikonduktor tipe-n berada pada lapisan atas yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari. Sedangkan semikonduktor tipe-p berada pada lapisan bawah.

Ketika sel surya terkena cahaya matahari, maka elektron yang terdapat pada atom sel surya mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari ikatan normal bahan semikonduktor. Lepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan elektron. Elektron yang lepas dari semikonduktor tipe-n kemudian tertarik ke arah semikonduktor tipe-p. Jika kedua lapisan semikonduktor tersebut dihubungkan dengan penghantar, maka elektron akan mengalir pada penghantar tersebut. Aliran elektron inilah yang menyebabkan timbulnya aliran arus listrik pada sel surya (sel *photovoltaic*).



Gambar 2.4 Prinsip kerja sel surya

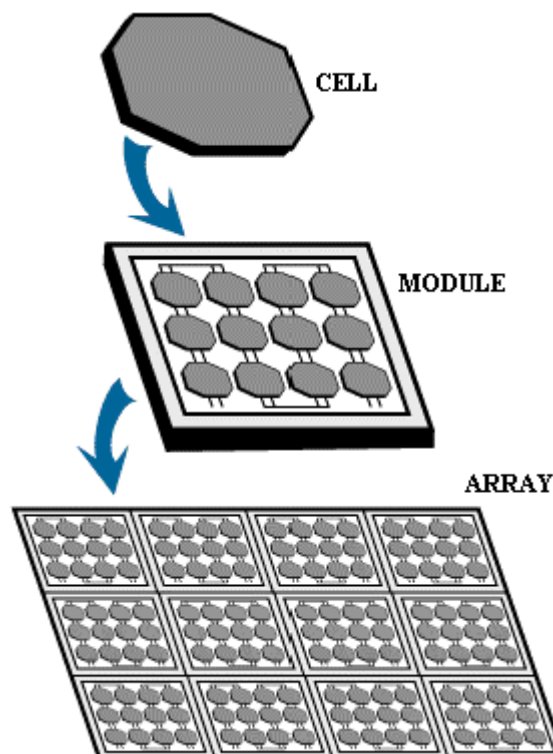
Sel-sel surya saling dihubungkan dan dienkapsulasi dalam sebuah modul. Agar diperoleh besaran arus dan tegangan yang diinginkan, maka masing-masing sel surya saling dihubungkan satu sama lain baik secara seri maupun secara paralel untuk membentuk suatu rangkaian PV yang disebut “modul”. Dengan menghubungkan sel surya secara seri maka dapat diperoleh tegangan yang lebih besar. Sedangkan untuk mendapatkan nilai arus yang lebih besar, maka sel surya dihubungkan secara paralel. Dengan demikian diperoleh nilai tegangan dan arus tertentu untuk satu modul surya.



Sumber: Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.19

Gambar 2.5 hubungan seri dan paralel pada sel surya

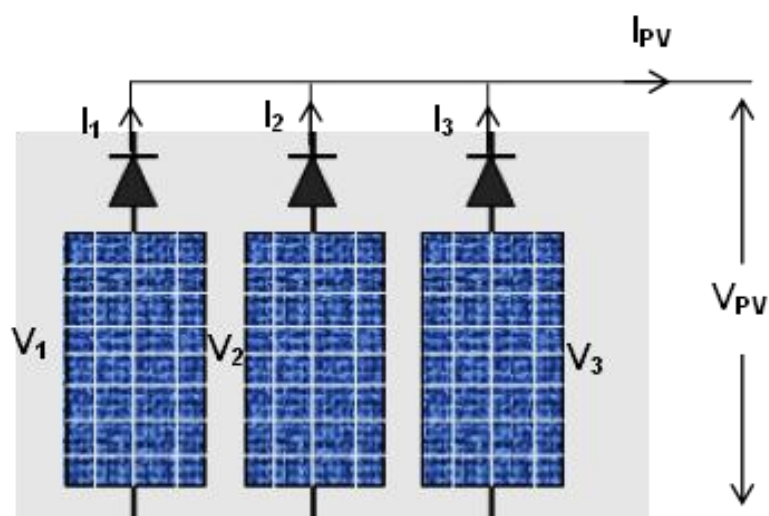
Modul-modul surya dihubungkan baik secara seri maupun paralel menjadi rangkaian modul surya yang disebut "Array".



Gambar 2.6 Diagram hubungan sel surya, modul dan array

Hubungan Modul Surya secara paralel.

Untuk mendapatkan arus listrik yang lebih besar dari keluaran arus listrik dari setiap modul surya, maka modul surya dihubungkan secara paralel, dengan cara menghubungkan kutub-kutub yang sama (kutub negatif saling dihubungkan dan kutub positif juga saling dihubungkan), seperti terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Hubungan paralel modul surya

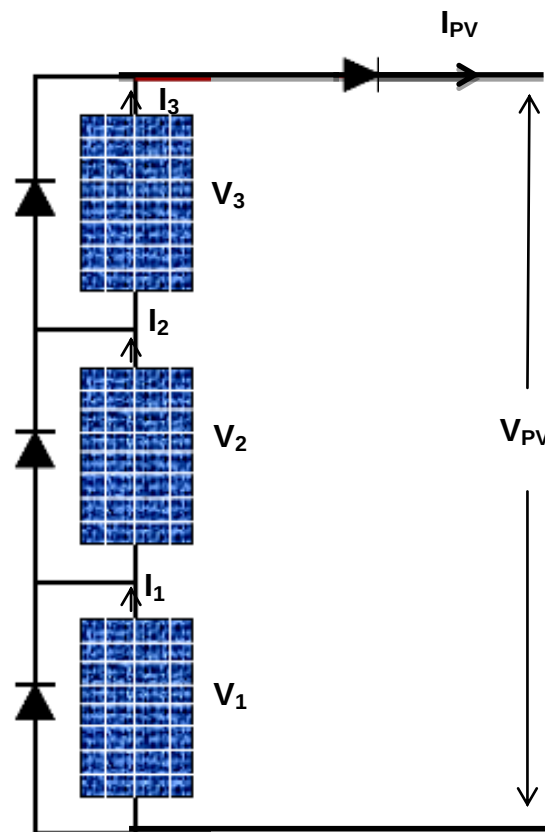
I_1, I_2 , dan I_3 adalah arus listrik yang dihasilkan oleh masing-masing modul surya 1, 2, dan 3. V_1, V_2 , dan V_3 adalah tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing modul surya 1, 2, dan 3. Jika ketiga modul surya tersebut dihubungkan secara paralel, maka arus yang dihasilkan oleh rangkaian modul surya tersebut (I_{PV}) adalah penjumlahan dari arus yang dihasilkan oleh masing-masing modul surya.

$$I_{PV} = I_1 + I_2 + I_3$$

Sedangkan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian modulsurya tersebut (V_{PV}) sama dengan tegangan masing-masing modul surya ($V_{PV} = V_1 = V_2 = V_3$).

Hubungan Modul Surya secara Seri

Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan modul surya dihubungkan secara seri yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif modul surya yang satu ke kutub negatif modul surya yang lain seperti terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hubungan seri modul surya

Tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian modul surya yang dihubungkan secara seri (V_{PV}) adalah penjumlahan dari tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing modul surya.

$$V_{PV} = V_1 + V_2 + V_3$$

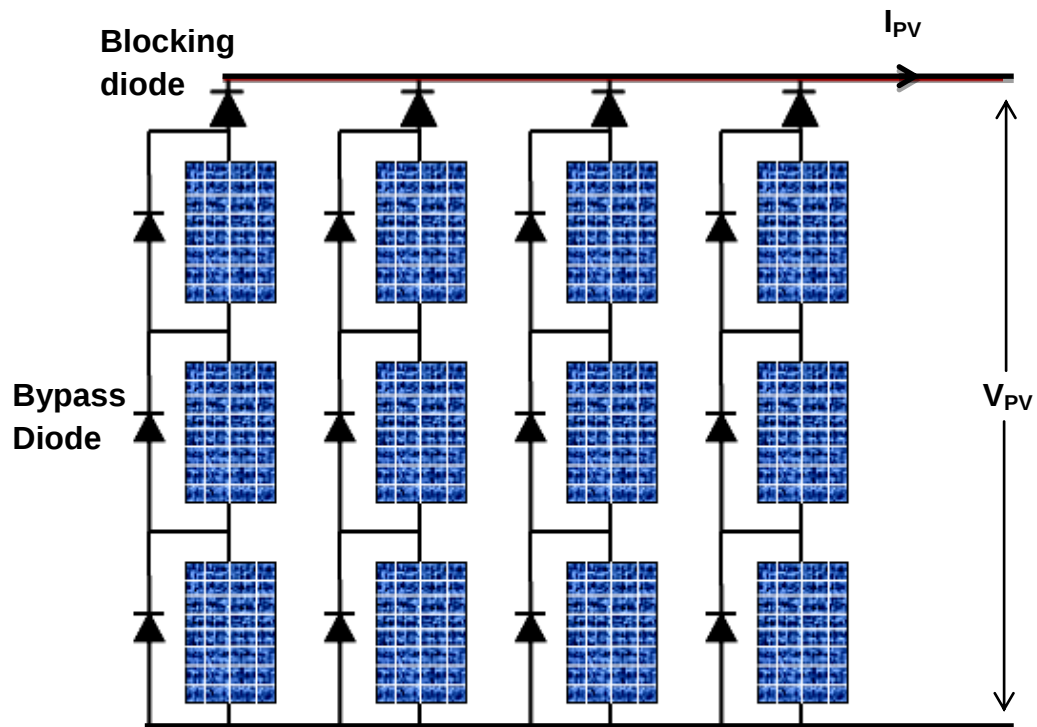
Sedangkan arus yang dihasilkan rangkaian modul surya (I_{PV}) sama dengan arus yang dihasilkan oleh masing-masing modul surya yang dirangkakan ($I_{PV} = I_1 = I_2 = I_3$).

Hubungan Modul Surya secara seri dan paralel

Untuk memperoleh daya puncak yang lebih besar, maka perlu untuk menggabungkan sejumlah modul surya secara seri maupun paralel seperti terlihat pada gambar 2.9. Pada gambar terlihat bahwa array atau rangkaian modul surya untuk mencatu daya sistem terdiri dari 3 buah modul surya yang dihubungkan secara seri dan 4 buah modul surya yang dihubungkan secara paralel.

Tegangan yang dihasilkan rangkaian modul surya (V_{PV}) sama dengan jumlah tegangan dari masing-masing modul surya yang dihubungkan secara seri. Sedangkan arus yang dihasilkan (I_{PV}) sama dengan jumlah arus dari masing-masing rangkaian modul surya yang dihubungkan secara paralel.

Rangkaian modul surya dilengkapi dengan *Blocking Diode* dan *Bypass Diode*. *Blocking diode* berfungsi untuk mencegah arus dari jaringan masuk ke rangkaian modul surya. Karena memisahkan rangkaian modul surya dari jaringan, *Blocking Diode* juga disebut dengan *Isolating Diode*. Sedangkan *Bypass Diode* berfungsi untuk menghubungkan *string* (rangkaian seri modul surya) dengan array jika salah satu modul surya pada string rusak. Sehingga arus listrik yang dihasilkan modul surya yang lain pada string tersebut tetap bisa disalurkan.



Gambar 2.9 Array atau rangkaian modul surya

2.6 Komponen Sistem PLTS

Komponen sistem PLTS pada umumnya terdiri dari rangkaian modul surya (PV Array), baterai, *solar charge controller*, dan *inverter*.

a. Rangkaian Modul Surya (PV Array)

Untuk memperoleh besaran tegangan dan daya yang diinginkan, maka beberapa modul surya dapat dirangkai secara seri, paralel, atau kombinasi seri dan paralel. Rangkaian modul surya ini disebut “Array”.

Array ini dipasang pada penyangga yang terbuat dari besi siku yang diproses dengan hot deep galvanize sehingga tahan terhadap pengkaratan dalam waktu yang cukup lama.



Gambar 2.10 Rangkaian Modul Surya

b. Baterai

Baterai merupakan alat penyimpanan energi dalam bentuk elektrokimia. Baterai yang digunakan pada sistem PLTS adalah baterai *rechargeable* (dapat diisi ulang). Reaksi kimia yang terjadi bersifat reversible, sehingga setelah digunakan baterai ini dapat diisi kembali (charging) dengan memberikan arus listrik dari luar. Baterai jenis ini mengubah energi kimia menjadi energi listrik pada saat digunakan, dan mengubah energi listrik menjadi energi kimia pada saat diisi.

Baterai *rechargeable* ada beberapa jenis, antara lain *lead-acid (Pb-acid)*, *nickel-cadmium (NiCd)*, *nickel-metal hydride (NiMH)*, *lithium-ion (Li-ion)*, *lithium-polymer (Li-poly)*, dan *zinc-air*.



Gambar 2.11 Baterai

c. Solar Charge Controller

Solar charge controller adalah peralatan elektronik pada sistem PLTS yang berfungsi untuk mengatur lalu lintas arus listrik dari modul surya ke baterai, dan dari baterai ke beban. Saat pengisian baterai, *solar charge controller* mengatur arus yang masuk ke baterai. Apabila baterai sudah penuh, maka arus listrik dari modul surya tidak akan dimasukkan ke baterai. Hal ini untuk menghindari *overcharging* yang dapat mengurangi umur baterai. Alat ini juga mengatur arus yang dibebaskan dari baterai ke beban. Jika energi pada baterai tinggal 20-30%, maka listrik ke beban akan otomatis dimatikan.



Gambar 2.12 Solar Charge Controller

Solar charge controller umumnya dilengkapi dengan fungsi-fungsi untuk melindungi baterai dengan proteksi-proteksi sebagai berikut:

1. *LVD, Low voltage disconnect*, apabila tegangan dalam battery rendah, ~11.2 V, maka untuk sementara beban tidak dapat dinyalakan. Apabila tegangan battery sudah melewati 12V, setelah

di charge oleh modul surya, maka beban akan otomatis dapat dinyalakan lagi (reconnect).

2. *HVD, High Voltage Disconnect*, memutus listrik dari modul surya jika battery/accu sudah penuh. Listrik dari modul surya akan dimasukkan kembali ke battery jika voltage battery kembali turun.
3. *Short circuit protection*, menggunakan electronic fuse(sikring) sehingga tidak memerlukan fuse pengganti. Berfungsi untuk melindungi system PLTS apabila terjadi arus hubung singkat baik di modul surya maupun pada beban. Apabila terjadi short circuit maka jalur ke beban akan dimatikan sementara, dalam beberapa detik akan otomatis menyambung kembali.
4. *Reverse Polarity*, melindungi dari kesalahan pemasangan kutub positif atau negatif.
5. *Reverse Current*, melindungi agar listrik dari battery/accu tidak mengalir ke modul surya pada malam hari.
6. *Lightning Protection*, melindungi terhadap surja petir.

d. Inverter

Inverter adalah alat elektronik yang berfungsi mengubah tegangan input DC menjadi tegangan AC. Sumber tegangan input DC *inverter* dapat berupa sel surya, baterai, atau sumber tegangan DC lainnya. Output dari *inverter* umumnya 120 V atau 220 V dengan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz.

Jenis *inverter* pada umumnya ditentukan oleh bentuk gelombang output yang dihasilkan. Bentuk gelombang output dapat berupa gelombang kotak (*square wave*), modifikasi gelombang kotak (*modified square wave*) yang disebut juga *modified sine wave*, atau gelombang sinus (*sine wave*).

Untuk PLTS yang terhubung dengan jaringan, inverter yang digunakan adalah inverter khusus yang disebut *Grid Tie Inverter* atau inverter sinkron (*synchronous inverter*). Inverter ini mengubah arus DC menjadi AC dengan frekuensi dan fasa yang sesuai dengan kriteria PLN sehingga dapat dihubungkan ke jaringan PLN. Proses sinkronisasi ini dilakukan dengan PLL (*Phase Locked Loop*), yaitu suatu algoritma yang dapat menegestimasi besaran amplitudo dan fasa dari sinyal referensi yang dijadikan sinyal input. Algoritma ini memerlukan input sinyal referensi untuk kalkulasi perhitungan amplitudo dan fasa estimasi. Sinyal referensi yang digunakan adalah sinyal besaran listrik jaringan PLN. Sehingga dengan PLL dapat dihasilkan sinyal keluaran yang sudut fasa dan frekuensinya sama dengan sudut fasa dan frekuensi listrik jaringan PLN.



Gambar 2.13 Inverter

2.7 Material sel surya



Gambar 2.14 silikon monokristal

Silikon monokristal disini berarti silikon tersebut tersusun atas satu kristal saja. Sedangkan jenis lain ialah wafer silikon polikristal yang terdiri atas banyak kristal. Wafer *silikon monokristal* dibuat melalui proses *Czochralski* (Cz) yang merupakan jantung dari proses pembuatan wafer silikon untuk semi konduktor pula. Prosesnya melibatkan peleburan silikon semiconductor grade, diikuti dengan pemasukan batang umpan silikon ke dalam lebur silikon. Ketika batang umpan ini ditarik perlahan dari leburan silikon, maka secara otomatis silikon dari leburan akan menempel dibatang umpan dan membeku sebagai satu kristal besar silikon. Suhu proses berkisar antara 1000-1200 ° celsius, yakni suhu dimana silikon dapat melebur/mencair. Silikon yang telah membeku ini akhirnya dipotong-potong menghasilkan wafer dengan ketebalan sekitar 2 milimeter.

2.7.1 Tahapan Umum Pembuatan Sel Surya Silikon

1. Pemesanan dan spesifikasi silikon wafer yang dibutuhkan

Pembuatan sel surya silikon ini bermula dari pemesanan silikon khusus untuk aplikasi sel surya yang dikenal sebagai *Cz-Si wafers* (*Czochralski silicon wafers*) di mana Cz merupakan proses utama pembuatan silikon wafer dari bijih silikon. Yang disebut dengan khusus ialah wafer ini telah di modifikasi menjadi silikon p-type dari pabrikan. Silikon wafer untuk sel surya ini berbentuk bujur sangkar dengan sudut yang diratakan, sebagaimana di tunjukan pada dibawah. Dimensi silikon wafer ini ialah 10-15 cm dengan ketebalan antara 200-350 micron (0.2-0.35 mm).



Gambar 2.15 spesifikasi material

2. Pembersihan permukaan silikon wafer

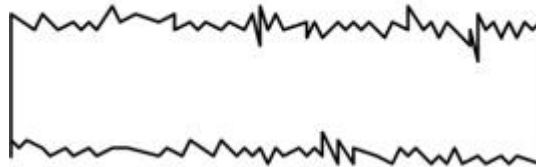


Gambar 2.16 Pembersihan permukaan silikon

Silikon wafer yang dipesan ini memiliki tipikal permukaan yang sangat kasar akibat pemotongan atau pengerjaan selama pabrik pembuatan

wafer. Untuk itu, permukaan silikon di *etch* (dikikis) dengan menggunakan larutan asam basa. Cukup dengan merendam silikon wafer kira-kira sedalam 10 mikron akan terkikis secara merata.

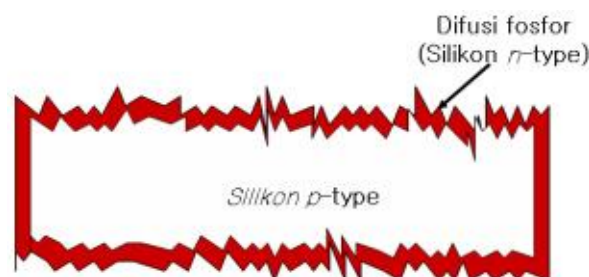
3. Teksturisasi permukaan silikon wafer



Gambar 2.17 Teksturisasi permukaan silikon

Agar silikon wafer yang dipergunakan dapat secara optimal menyerap sinar matahari, pada umumnya permukaan silikon diberi perlakuan khusus dengan menggunakan larutan basa NaOH atau KOH dengan konsentrasi, temperatur maupun lama perlakuan tertentu. Dengan mencelupkan wafer kedalam larutan tersebut, permukaan silikon menjadi kasar dengan tekstur menyerupai piramida. Tekstur wafer seperti piramida ini dapat mengurangi pemantulan sinar matahari yang datang serta meningkatkan penyerapan sinar matahari oleh permukaan wafer.

4. Difusi fosfor dan pembuatan lapisan n-type silikon

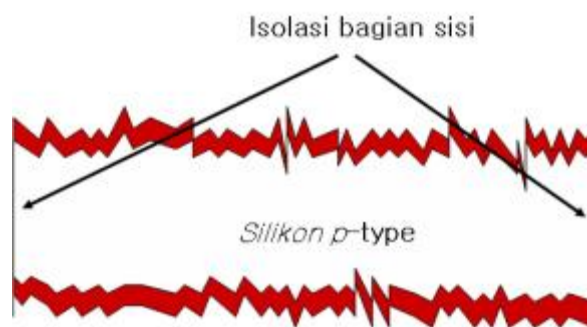


Gambar 2.18 proses pembuatan lapisan n-type silikon

Fosfor dikenal luas sebagai elemen tambahan (*dopant*) untuk membuat semikonduktor silikon berjenis n atau silikon n-type. Setelah proses teksturisasi, silikon wafer ini dimasukkan kedalam dapur pemanas

bertemperatur tinggi yang dilengkapi dengan larutan $POCl_3$ sebagai sumber *fosfor*. Dengan meniupkan gas *inert nitrogen* ke dalam larutan, maka uap *fosfor* akan keluar dan dapat dialirkan ke dalam dapur. Suhu di dalam *furnace* dijaga sekitar $900-950\text{ }^{\circ}\text{C}$ sehingga uap *fosfor* tersebut dapat *berdifusi* biasanya di hentikan setelah 10-15 menit hingga terbentuknya lapisan silikon n-type di permukaan silikon dengan ketebalan lapisan sekitar 10-20 micron. Lapisan n-type ini berfungsi sebagai pelengkap sambungan p-n pada struktur sel surya dan lapisan konduktif yang mengalirkan elektron ke rangkaian.

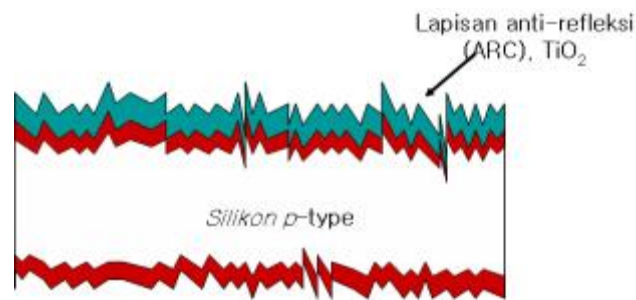
5. Penghilangan lapisan silikon n-type pada bagian sisi wafer



Gambar 2.19 proses penghilangan lapisan silikon n-type pada bagian sisi wafer

Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4, lapisan silikon n-type terdapat pula di bagian sisi wafer yang bila ini terjadi maka ia dapat menghubungkan dua permukaan wafer. Untuk itu lapisan silikon n-type di sisi wafer perlu dihilangkan dengan memotong lapisan tersebut perlu presisi ialah dengan menggunakan plasma yang mengikis habis silikon n-type ini.

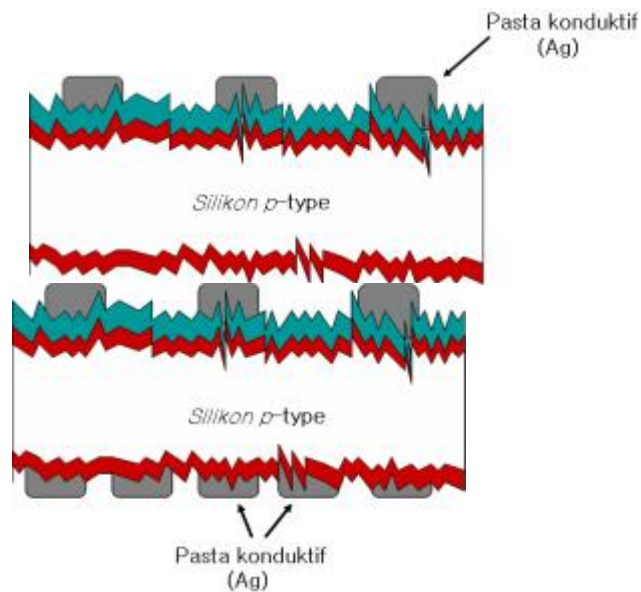
6. Pembuatan lapisan *anti-refleksi*



Gambar 2.20 proses pembuatan *anti-refleksi*

Selain teksturisasi untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari, maka penggunaan lapisan anti refleksi (*anti-reflection coating/ARC*) di atas lapisan silikon n-type. Lapisan ARC ini merupakan lapisan transparan/tembus cahaya yang dapat meneruskan sinar matahari yang jatuh di permukaan wafer namun tidak memantulkannya. Indeks refraksi lapisan *ARC* yang besar inilah yang menyebabkan ia tidak memantulkan sinar matahari. Material untuk *ARC* ini biasanya ialah *TiO₂* /*titanium dioksida*. Teknik pembuatannya dapat memanfaatkan teknik penguapan kimia (*chemical vapor deposition/CVD*) yang mereaksikan uap senyawa *titanium* organik yang dicampur dengan uap air pada suhu yang relatif rendah yakni 200 °C.

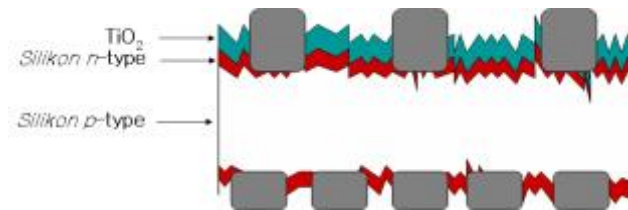
7. Metalisasi



Gambar 2.21 Proses *Metalisasi*

Agar dapat di hubungkan dengan kabel, silikon diberi lapisan *metal* yang konduktif sehingga dapat mengalirkan elektron/*hole* dari sel surya. Logam yang cocok untuk bertugas sebagai konduktor ini ialah Ag (perak). Ia memiliki sifat konduktifitas yang tinggi, memiliki daya rekat ke silikon wafer yang sangat baik serta berdaya tahan tinggi. Perak yang dipasang di silikon wafer sangat tipis dan pemasangannya menggunakan metode screen printing. Pasta larutan perak dioleskan di atas sebuah pola dengan bagian-bagian tertentu yang memungkinkan pasta larutan perak mengisi permukaan wafer. Setelah selesai dioleskan di atas wafer, dengan pemanasan dan pengeringan 100-200 °C, pasta akan mengering. Proses metalisasi ini dikerjakan pula di bagian belakang silikon wafer.

8. Pemanasan (*co-firing*)



Gambar 2.22 Proses Pemanasan (*co-firing*)

Pemanasan pada suhu tinggi diperlukan untuk memantapkan lapisan metal konduktif karena masih terdapatnya *residu*/bahan bahan sisa organik selama pengeringan pada suhu rendah. Pada pemanasan yang lebih tinggi, perak sebagai komponen konduktif menjadi semakin padat dan mampu mempenetrasi lapisan ARC sendiri. Hingga tahap ini, komponen sel surya sudah secara utuh terbuat.

9. Pengujian dan pemilihan sel

Ini ialah tahap terakhir dari pembuatan sel surya yakni menguji sel dan memeriksa efisiensi sel maupun akititas *quality control* lainnya.

10. Enkapsulasi dan pembuatan modul sel



Gambar 2.23 Proses enkapsulasi dan pembuatan modul sel

Sebagaimana disebutkan di awal, sel surya hanya berukuran 10x10 atau 15x15 cm. Agar sel dapat di pergunakan, dan menghasilkan daya yang biasa di pasarkan, sel dirangkai menjadi sebuah modul yang lebih besar dan tersusun atas 20-30 sel. Dalam tahap ini, proses enkapsulasi modul dengan kaca/plastik dan pemasangan frame aluminum dikerjakan hingga siap untuk dipakai (lihat gambar modul surya dibawah). Tanpa enkapsulasi yang berfungsi pula sebagai pelindung sel surya terhadap lingkungan luar, sel atau modul tidak dapat dimanfaatkan secara optimal.