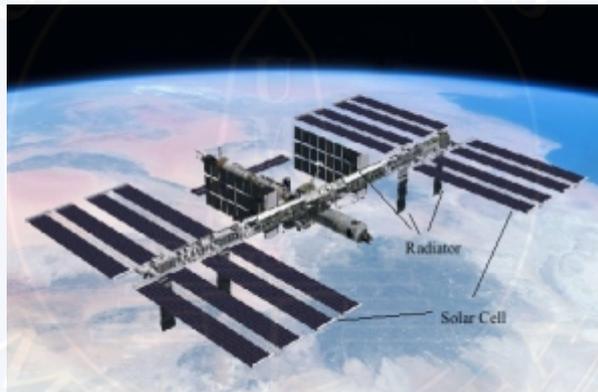


BAB II

DASAR TEORI

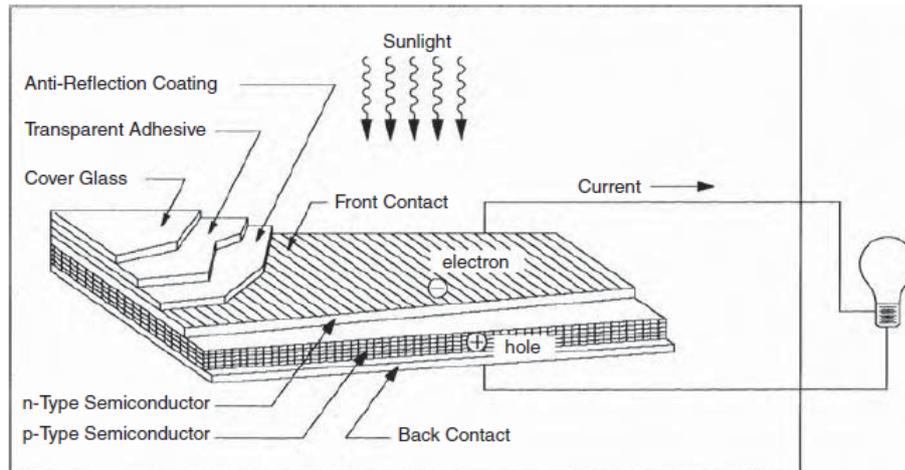
2.1. Pengenalan Tentang Sel surya

Sel surya, solar cell, photovoltaic, atau fotovoltaik sejak tahun 1970-an telah mengubah cara pandang kita tentang energi dan memberi jalan baru bagi manusia untuk memperoleh energi listrik tanpa perlu membakar bahan bakar fosil sebagaimana pada minyak bumi, gas alam atau batu bara, tidak pula dengan menempuh jalan reaksi fisi nuklir. Sel surya mampu beroperasi dengan baik di hampir seluruh belahan bumi yang tersinari matahari.



Gambar 2.1. Satelit Yang Menggunakan Sel Surya

Sel surya dapat digunakan tanpa polusi, baik polusi udara maupun suara, dan disegala cuaca. Sel surya juga telah lama dipakai untuk memberi tenaga bagi semua satelit yang mengorbit bumi nyaris selama 30 tahun. Sel surya tidak memiliki bagian yang bergerak, namun mudah dipindahkan sesuai dengan kebutuhan. Semua keunggulan sel surya di atas disebabkan oleh karakteristik khas sel surya yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik secara langsung.



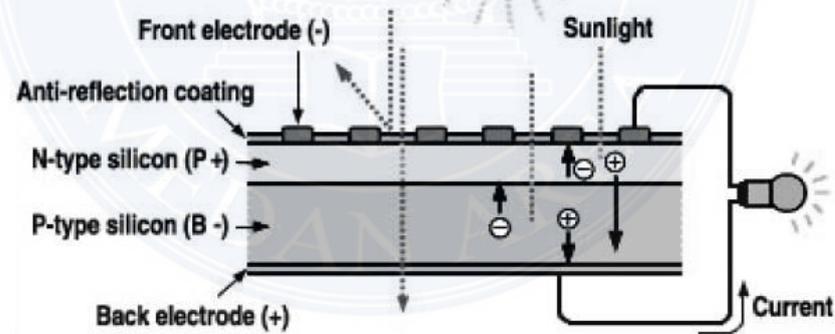
Gambar 2.2 Konstruksi Dasar Sel Surya

Sel surya terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 volt. Sel surya merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek fotovoltaiik untuk merubah energi surya menjadi energi listrik.

2.1.1. Prinsip Kerja Sel Surya

Susunan sebuah sel surya, sama dengan sebuah dioda, terdiri dari dua lapisan yang dinamakan PN junction. PN junction itu diperoleh dengan jalan menodai sebatang bahan semikonduktor silikon murni (valensinya 4) dengan impuriti yang bervalensi 3 pada bagian sebelah kiri, dan yang di sebelah kanan dinodai dengan impuriti bervalensi 5.

Sehingga pada bagian kiri terbentuk silikon yang tidak murni lagi dan dinamakan silikon jenis P, sedangkan yang sebelah kanan dinamakan silikon jenis N. Di dalam silikon murni terdapat dua macam pembawa muatan listrik yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan hole, sedangkan yang negatif dinamakan elektron. Setelah dilakukan proses penodaan itu, di dalam silikon jenis P terbentuk hole (pembawa muatan listrik positif) dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan elektronnya. Oleh karena itu di dalam silikon jenis P hole merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Sebaliknya, di dalam silikon jenis N terbentuk elektron dalam jumlah yang sangat besar sehingga disebut pembawa muatan mayoritas, dan hole disebut pembawa muatan minoritas.



Gambar 2.3. Struktur Sel Surya Silikon pn – junction

Di dalam batang silikon itu terjadi pertemuan antara bagian P dan bagian N. Oleh karena itu dinamakan PN junction. Bila sekarang, bagian P dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah baterai, sedangkan kutub negatifnya

dihubungkan dengan bagian N, maka terjadi hubungan yang dinamakan *forward bias*.

Dalam keadaan *forward bias*, di dalam rangkaian itu timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam PN junction disebabkan oleh gerakan hole dan gerakan elektron. Arus listrik itu mengalir searah dengan gerakan hole, tapi berlawanan arah dengan gerakan elektron. Sekedar untuk lebih menjelaskan, elektron yang bergerak di dalam bahan konduktor dapat menimbulkan energi listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan gerakan elektron.

Tapi, bila bagian P dihubungkan dengan kutub negatif dari baterai dan bagian N dihubungkan dengan kutub positifnya, maka sekarang terbentuk hubungan yang dinamakan *reverse bias*. Dengan keadaan seperti ini, maka hole (pembawa muatan positif) dapat tersambung langsung ke kutub positif, sedangkan elektron juga langsung ke kutub positif. Jadi, jelas di dalam PN junction tidak ada gerakan pembawa muatan mayoritas baik yang hole maupun yang elektron. Sedangkan pembawa muatan minoritas (elektron) di dalam bagian P bergerak berusaha untuk mencapai kutub positif baterai. Demikian pula pembawa muatan minoritas (hole) di dalam bagian N juga bergerak berusaha mencapai kutub negatif. Karena itu, dalam keadaan *reverse bias*, di dalam PN junction ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil (mikro ampere). Arus ini sering disebut dengan *reverse saturation current* atau *leakage current* (arus bocor).

Ada yang menarik dalam keadaan *reverse bias* itu. Bila suhu PN junction tersebut dinaikkan ternyata dapat memperbesar arus bocor yang timbul itu. Berarti bila diberi energi (panas), pembawa muatan minoritas di dalam PN junction bertambah banyak. Karena cahaya itu merupakan salah satu bentuk energi, maka bila ada cahaya yang menimpa suatu PN junction dapat juga menghasilkan energi yang cukup untuk menghasilkan pembawa muatan. Gejala seperti ini dinamakan fotokonduktif. Berdasarkan gejala fotokonduktif itu maka dibuat komponen elektronik fotodioda dari PN junction itu. Dalam keadaan *reverse bias*, dengan memperbesar intensitas cahaya yang menimpa fotodioda dapat meningkatkan arus bocornya. Arus bocor dapat juga diperbesar dengan memperbesar tegangan baterai (tegangan reverse), tapi penambahan arus bocornya itu tidak signifikan. Bila baterai dalam rangkaian *reverse bias* itu dilepas dan diganti dengan beban tahanan, maka pemberian cahaya itu dapat menimbulkan pembawa muatan baik hole maupun elektron. Jika iluminasi cahaya itu ditingkatkan, ternyata arus yang timbul semakin besar. Gejala seperti ini dinamakan photovoltaic. Cahaya dapat memberikan energi yang cukup besar untuk memperbesar jumlah hole pada bagian P dan jumlah elektron pada bagian N. Berdasarkan gejala photovoltaic ini maka dapat diciptakan komponen elektronik photovoltaic cell. Karena biasanya matahari sebagai sumber cahaya, maka photovoltaic cell sering juga disebut solar cell (sel surya) atau solar energy converter.

Jadi sel surya itu pada dasarnya sebuah foto dioda yang besar dan dirancang dengan mengacu pada gejala photovoltaic sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan daya yang sebesar mungkin. Silikon jenis P merupakan

lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif.

Untuk mendapatkan daya yang cukup besar diperlukan banyak sel surya. Biasanya sel-sel surya itu sudah disusun sehingga berbentuk panel, dan dinamakan panel photovoltaic (PV). PV sebagai sumber daya listrik pertama kali digunakan di satelit. Kemudian dipikirkan pula PV sebagai sumber energi untuk mobil, sehingga ada mobil listrik surya. Sekarang, di luar negeri, PV sudah mulai digunakan sebagai atap atau dinding rumah. Bahkan Sanyo sudah membuat PV yang semi transparan sehingga dapat digunakan sebagai pengganti kaca jendela. Sel surya di Indonesia sudah mulai banyak dimanfaatkan, terutama sebagai energi penerangan di malam hari. Juga sudah dilakukan uji coba untuk membuat mobil tenaga surya. Sekarang, pemerintah sedang memikirkan untuk mengembangkan pemanfaatan sel surya ke daerah-daerah transmigrasi.

2.1.2. Jenis-jenis Sel Surya

Perkembangan pembuatan solar cell atau sel surya mengalami kemajuan dari berbagai zaman dan dipengaruhi oleh bahan-bahan pembuatan cell-cell tersebut. Bahan-bahan yang dipakai antara lain sebagai berikut :

a. Mono-crystalline (Si)

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang mono-crystalline dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.

b. Poly-crystalline/Multi-crystalline (Si)

Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel polycrystalline(efektivitas 18%), tetapi biaya lebih murah.

c. Sel Film Tipis

Jenis ini yang ditemukan di pasaran. Copper indium diselenide (CuInSe_2 atau CIS), cadmium telluride (CdTe), dan gallium arsenide (GaAs) semua adalah jenis Sel Film Tipis.

2.2. Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya/solar cell menjadi AC. Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (Alternating Current).

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter:

- Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dgn beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
- Input DC 12 Volt atau 24 Volt.
- Sine wave ataupun square wave output AC.

True sine wave inverter diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka true sine wave inverter adalah yang paling mahal diantara yang lainnya karena dialah yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN.

Dalam perkembangannya di pasaran juga beredar modified sine wave inverter yang merupakan kombinasi antara square wave dan sine wave. Bentuk gelombangnya bila dilihat melalui oscilloscope berbentuk sinus dengan ada garis putus-putus di antara sumbu $y = 0$ dan grafik sinusnya. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan modified sine wave inverter, hanya saja kurang maksimal. Sedangkan pada square wave inverter beban-beban listrik yang menggunakan kumparan atau motor tidak dapat bekerja sama sekali.

Selain itu dikenal juga istilah Grid Tie Inverter yang merupakan spesial inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan, yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian diumpankan ke jaringan listrik yang sudah ada. Grid Tie Inverter juga dikenal sebagai synchronous

inverter dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi bila jaringan tenaga listriknya tidak tersedia. Dengan adanya grid tie inverter kelebihan KWh yang diperoleh dari sistem PLTS ini bisa disalurkan kembali ke jaringan listrik PLN untuk dinikmati bersama dan sebagai penggantinya besarnya KWh yang disuplai harus dibayar PLN ke penyedia PLTS.

2.3. Solar Charger Controller

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller mengatur overcharging (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan tegangan dari panel surya. Kelebihan tegangan saat pengisian akan mengurangi umur baterai. Solar charge controller menerapkan teknologi Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya umumnya memiliki tegangan output 16 – 21 Volt. Jadi tanpa solar charger controller, baterai akan rusak oleh over-charging dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di charge pada tegangan 14 – 14,7 Volt.

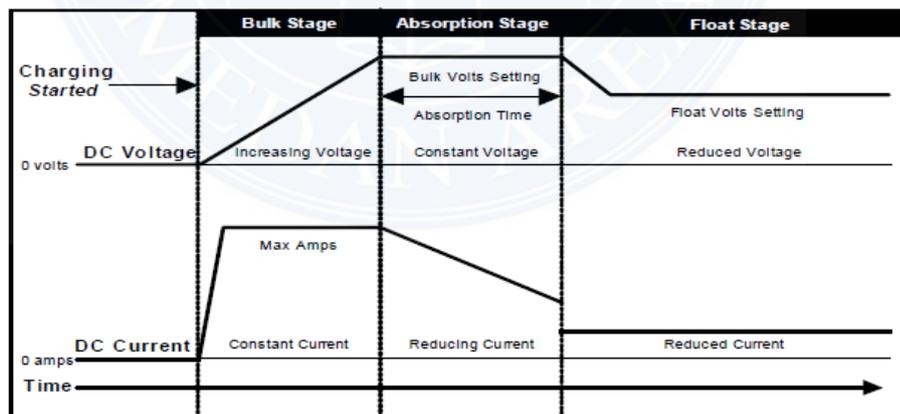
Solar charger controller adalah komponen penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dimana solar charger controller berfungsi untuk :

- Charging mode: Mengisi baterai (kapan baterai diisi, menjaga pengisian kalau baterai penuh).
- Operation mode: Penggunaan baterai ke beban (pelayanan baterai ke beban diputus kalau baterai sudah mulai kosong).

2.3.1. Charging Mode Solar Charger Controller

Dalam charging mode, umumnya baterai diisi dengan metode *three stage charging*:

- **Fase bulk:** baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan setup (bulk antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel solar cell. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (bulk) dimulailah fase absorption.
- **Fase absorption:** pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai solar charger controller timer (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
- **Fase float:** baterai akan dijaga pada tegangan float setting (umumnya 13.4 - 13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel solar cell pada stage ini.



Gambar 2.4. Grafik Pengisian Baterai

2.3.2. Operation Mode Solar Charger Controller

Pada mode ini, baterai akan melayani beban. Apabila ada over-discharge atau over-load, maka baterai akan dilepaskan dari beban. Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.

Solar charge controller merupakan alat elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charger controller mengatur overcharging (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari panel surya. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.

Pada solar charger controller ini menerapkan teknologi Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Pada umumnya panel surya 12 volt memiliki tegangan output 16 – 21 volt, jadi tanpa solar charger controller, baterai akan rusak oleh over-charging dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 – 14,7 volt.

Beberapa fungsi detail dari solar charger controller adalah sebagai berikut:

- Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari overcharging, dan overvoltage.
- Mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak full discharge, dan overloading.
- Monitoring temperatur baterai.

Seperti yang telah disebutkan di atas solar charger controller yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai

sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel solar cell berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. Solar charger controller akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

Solar Charger Controller biasanya terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel surya/solar cell, 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai/aki dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (load). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada *diode protection* yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya/solar cell ke baterai, bukan sebaliknya.

Solar Charger Controller bahkan ada yang mempunyai lebih dari 1 sumber daya, yaitu bukan hanya berasal dari matahari, tapi juga bisa berasal dari tenaga angin ataupun mikrohidro. Di pasaran sudah banyak ditemui charger controller 'tandem' yaitu mempunyai 2 input yang berasal dari matahari dan angin. Untuk ini energi yang dihasilkan menjadi berlipat ganda karena angin bisa bertiup kapan saja, sehingga keterbatasan waktu yang tidak bisa disuplai energi matahari secara full, dapat didukung oleh tenaga angin. Bila kecepatan rata-rata angin terpenuhi maka daya listrik per bulannya bisa jauh lebih besar dari energi matahari.

2.4. Baterai

Akumulator (accu, aki) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Contoh-contoh akumulator adalah baterai dan kapasitor. Pada umumnya di Indonesia, kata akumulator

(sebagai aki atau accu) hanya dimengerti sebagai baterai mobil. Sedangkan di bahasa Inggris, kata akumulator dapat mengacu kepada baterai, kapasitor, kompulsator, dll. Akumulator termasuk ke dalam jenis sel sekunder, artinya sel ini dapat dimuati ulang ketika muatannya habis. Ini karena reaksi kimia dalam sel dapat dibalikkan arahnya. Jadi sewaktu sel dimuati, energi listrik diubah menjadi energi kimia, dan sewaktu sel bekerja, energi kimia diubah menjadi energi listrik.

Reaksi kimia di balik kotak aki Accumulator atau sering disebut aki, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo starter kendaraan). Aki mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Di pasaran saat ini sangat beragam jumlah dan jenis aki yang dapat ditemui.

Aki untuk mobil biasanya mempunyai tegangan sebesar 12 Volt, sedangkan untuk motor ada tiga jenis yaitu, dengan tegangan 12 Volt, 9 volt dan ada juga yang bertegangan 6 Volt. Selain itu juga dapat ditemukan pula aki yang khusus untuk menyalakan tape atau radio dengan tegangan juga yang dapat diatur dengan rentang 3, 6, 9, dan 12 Volt.

Tentu saja aki jenis ini dapat dimuati kembali (recharge) apabila muatannya telah berkurang atau habis. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya. Maka

jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (dry cells). Allessandro Volta, seorang ilmuwan fisika mengetahui, gaya gerak listrik (GGL) dapat dibangkitkan dua logam yang berbeda dan dipisahkan larutan elektrolit. Volta mendapatkan pasangan logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat membangkitkan ggl yang lebih besar dibandingkan pasangan logam lainnya (kelak disebut elemen Volta).

Hal ini menjadi prinsip dasar bagi pembuatan dan penggunaan elemen sekunder. Elemen sekunder harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik melaluinya (secara umum dikenal dengan istilah 'disetrum'). Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali.

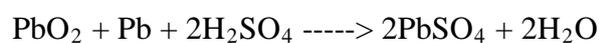
Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan aki. Dalam sebuah aki berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (discharging). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (charging).

Jenis aki yang umum digunakan adalah accumulator timbal. Secara fisik aki ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dimasukkan pada larutan asam sulfat encer (H_2SO_4). Larutan elektrolit itu ditempatkan pada wadah atau bejana aki yang terbuat dari bahan ebonit atau gelas. Kedua belah pelat terbuat dari

timbal (Pb), dan ketika pertama kali dimuati maka akan terbentuk lapisan timbal dioksida (PbO₂) pada pelat positif.

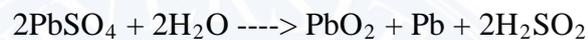
Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dibuat untuk tidak saling menyentuh dengan adanya lapisan pemisah yang berfungsi sebagai isolator (bahan penyekat). Proses kimia yang terjadi pada aki dapat dibagi menjadi dua bagian penting, yaitu selama digunakan dan dimuati kembali atau 'disetrum'. Reaksi kimia Pada saat aki digunakan, tiap molekul asam sulfat (H₂SO₄) pecah menjadi dua ion hidrogen yang bermuatan positif (2H⁺) dan ion sulfat yang bermuatan negatif (SO₄⁻). Tiap ion SO₄ yang berada dekat lempeng Pb akan bersatu dengan satu atom timbal murni (Pb) menjadi timbal sulfat (PbSO₄) sambil melepaskan dua elektron. Sedang sepasang ion hidrogen tadi akan ditarik lempeng timbal dioksida (PbO₂), mengambil dua elektron dan bersatu dengan satu atom oksigen membentuk molekul air (H₂O).

Dari proses ini terjadi pengambilan elektron dari timbal dioksida (sehingga menjadi positif) dan memberikan elektron itu pada timbal murni (sehingga menjadi negatif), yang mengakibatkan adanya beda potensial listrik di antara dua kutub tersebut. Proses tersebut terjadi secara simultan, reaksi secara kimia dinyatakan sebagai berikut :



Di atas ditunjukkan terbentuknya timbal sulfat selama penggunaan (discharging). Keadaan ini akan mengurangi reaktivitas dari cairan elektrolit karena asamnya menjadi lemah (encer), sehingga tahanan antara kutub sangat lemah untuk pemakaian praktis. Sementara proses kimia selama pengisian aki

(charging) terjadi setelah aki melemah (tidak dapat memasok arus listrik pada saat kendaraan hendak dihidupkan). Kondisi aki dapat dikembalikan pada keadaan semula dengan memberikan arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arus yang terjadi saat discharging. Pada proses ini, tiap molekul air terurai dan tiap pasang ion hidrogen yang dekat dengan lempeng negatif bersatu dengan ion SO_4 pada lempeng negatif membentuk molekul asam sulfat. Sedangkan ion oksigen yang bebas bersatu dengan tiap atom Pb pada lempeng positif membentuk PbO_2 . Reaksi kimia yang terjadi adalah :



Besar ggl yang dihasilkan satu sel aki adalah 2 Volt. Sebuah aki mobil terdiri dari enam buah aki yang disusun secara seri, sehingga ggl totalnya adalah 12 Volt. Accu mencatu arus untuk menyalakan mesin (motor dan mobil dengan menghidupkan dinamo starter) dan komponen listrik lain dalam mobil. Pada saat mobil berjalan aki dimuati (diisi) kembali sebuah dinamo (disebut dinamo jalan) yang dijalankan dari putaran mesin mobil atau motor.

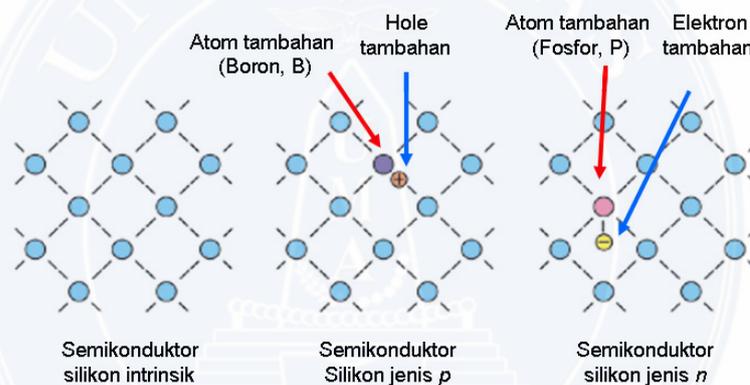
Pada aki kendaraan bermotor arus yang terdapat di dalamnya dinamakan dengan kapasitas aki yang disebut Ampere-Hour/AH (Ampere-jam). Contohnya untuk aki dengan kapasitas arus 45 AH, maka aki tersebut dapat mencatu arus 45 Ampere selama 1 jam atau 1 Ampere selama 45 jam.

2.5. Proses Konversi Energi Cahaya Menjadi Energi Listrik

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, ($n = \text{negatif}$). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p ($p = \text{positif}$) 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:



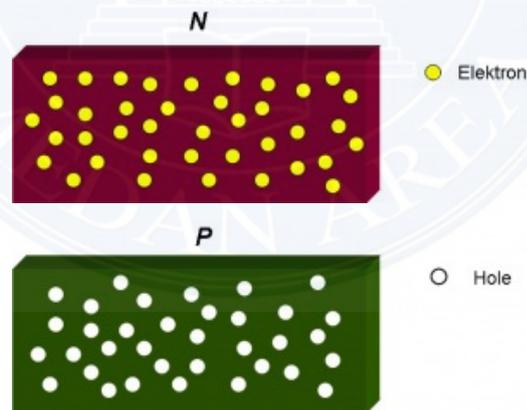
Gambar 2.5. Struktur Atom Semikonduktor

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.

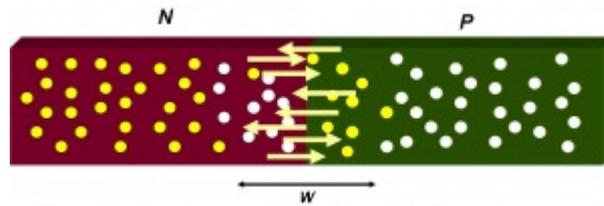
1. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



Gambar 2.6. Semikonduktor Jenis p dan n

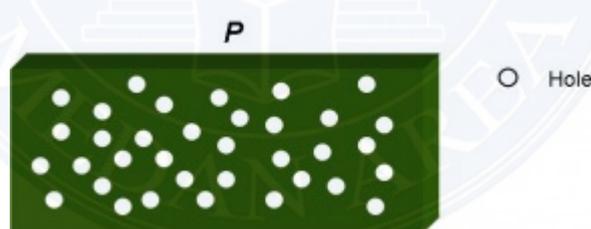
2. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan / elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.

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



Gambar 2.7. Semikonduktor p-n yang Disambung

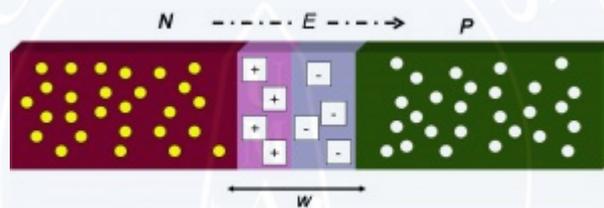
- Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan positif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor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



Gambar 2.8. Semikonduktor Lebih Bermuatan Positif

- 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).

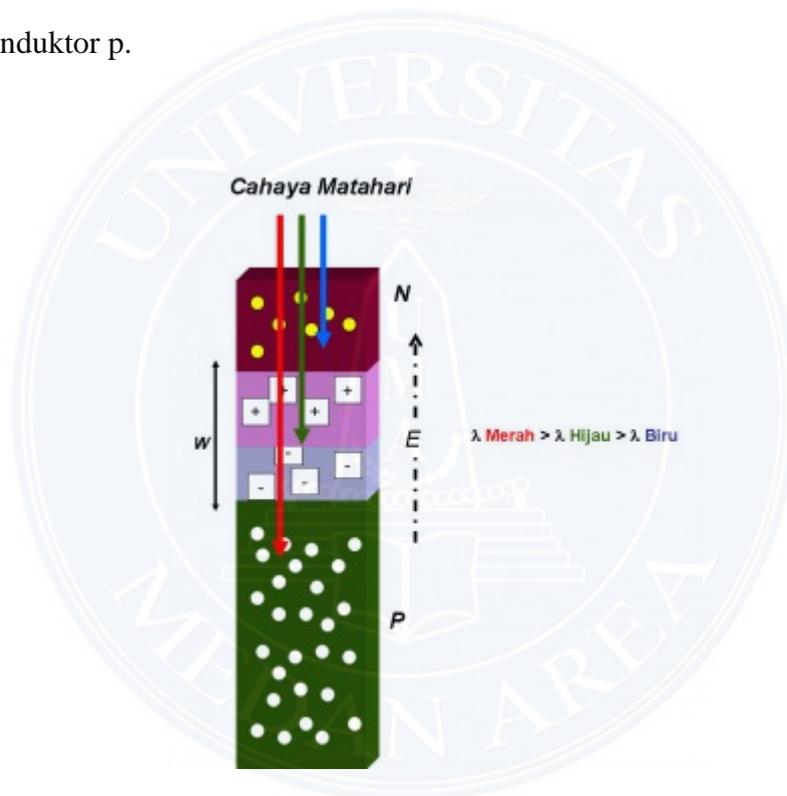


Gambar 2.9. Semikonduktor yang Menimbulkan Medan Listrik

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 elektron 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.

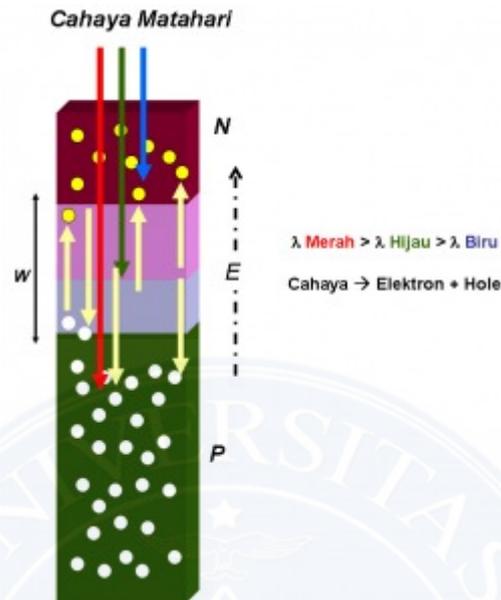
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke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



Gambar 2.10. Proses Konversi Cahaya Matahari

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.



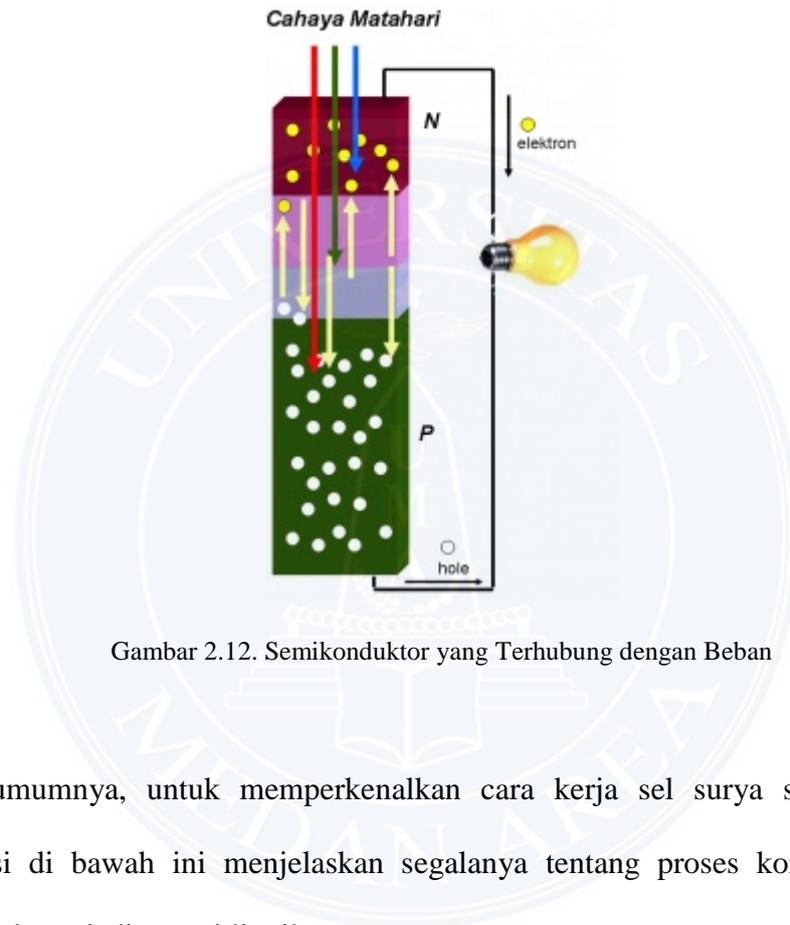
Gambar 2.11. Terbentuk Pasangan Elektron dan Hole

cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lambda” seperti gambar di 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.

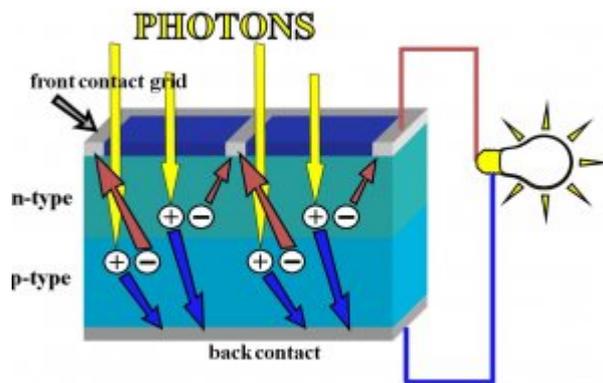
Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p.

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 2.12. Semikonduktor yang Terhubung dengan Beban

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 2.13. Ilustrasi Proses Konversi Cahaya Matahari Menjadi Energi Listrik

2.6. Pembahasan Perhitungan Daya dan Efisiensi

Sebelum mengetahui daya sesaat yang dihasilkan untuk kebutuhan, maka harus diketahui terlebih dahulu energi yang diterima, dimana energi tersebut adalah perkalian intensitas radiasi yang diterima dengan luasan dengan persamaan:

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

Dimana :

I_r = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = Luas permukaan (m²)

Sedangkan untuk besarnya daya sesaat yaitu perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Beda potensial (Volt)

I = Arus (Ampere)

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari sinar matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga efisiensi yang dihasilkan :

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

Dimana :

- η = Efisiensi (%)
- P = Daya listrik (Watt)
- I_r = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)
- A = Luas sel surya (m²)

2.7. Penyimpanan Arus Listrik

Setelah mendapatkan output dari sel surya yang berupa arus listrik dapat langsung digunakan untuk beban yang dimanfaatkan. Tetapi juga arus listrik tersebut dapat digunakan sebagai pengisian dengan cara disimpan ke dalam baterai agar dapat dipergunakan pada saat yang diperlukan khususnya pada malam hari karena tidak adanya sinar matahari.

Apabila sel surya tersebut digunakan untuk penyimpanan ke baterai, maka besarnya tegangan yang dihasilkan harus diatas spesifikasi baterai tersebut. Misalnya baterai yang digunakan adalah 12 Volt, maka tegangan yang dihasilkan sel surya harus diatas 12 Volt untuk dapat melakukan pengisian.

Sebelum melaksanakan pengisian sebaiknya baterai dalam keadaan kosong karena arus yang masuk akan dapat terisi dengan maksimal. Satuan kapasitas suatu baterai adalah Ampere jam (AH) dan biasanya karakteristik ini terdapat pada label suatu baterai. Misalnya suatu baterai dengan kapasitas 10 AH akan terisi penuh selama 10 jam dengan arus output sel surya sebesar 1 Ampere.

