

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sumber Energi

Ada banyak sumber-sumber energi utama dan digolongkan menjadi dua kelompok besar yang dibahas pada alinea-alinea berikut:

Energi konvensional adalah energi yang diambil dari sumber yang hanya tersedia dalam jumlah terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sumber-sumber energi ini akan berakhir cepat atau lambat dan berbahaya bagi lingkungan.

Energi terbarukan diciptakan sebagai upaya untuk mengimbangi perkembangan energi berbahan bakar nuklir dan fosil. Definisi paling umum adalah sumber energi yang cepat dipulihkan kembali secara alami, dan prosesnya berkelanjutan. Energi terbarukan dihasilkan dari sumberdaya energi yang secara alami tidak akan habis bahkan berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Energi terbarukan berasal dari elemen – elemen alam yang tersedia di bumi dalam jumlah besar, misal : matahari, angin, laut, dsb. Selain dapat dipulihkan kembali, energi terbarukan diyakini lebih bersih (ramah lingkungan) dan aman. Penggunaan energi terbarukan lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan di banding energi non terbarukan.

Ada beragam jenis energi terbarukan, namun tidak semuanya bisa digunakan di daerah – daerah terpencil dan perdesaan. Berikut adalah contoh beberapa sumber energi terbarukan di Indonesia :

1. Biofuel
2. Biomassa
3. Panas Bumi
4. Air
5. Angin
6. Matahari
7. Gelombang Laut
8. Pasang Surut

Tenaga surya, tenaga angin, biomassa dan tenaga air adalah teknologi yang paling sesuai untuk menyediakan energi di daerah – daerah terpencil dan perdesaan.

2.2 Tenaga Surya

Tenaga surya senantiasa mencapai Bumi 24 jam sehari, tujuh hari seminggu. Cahaya matahari mengandung tenaga yang sedemikian banyaknya. Pada saat matahari di tengah hari, tenaga surya mencapai permukaan bumi dengan nilai energi puncak sebesar satu kilowatt per meter persegi per jam. (1kW/m^2 tiap jam). Jadi jika semua energi ini bisa ditampung, maka akan bisa menyediakan semua kebutuhan tenaga listrik di setiap negara yang ada di bumi ini. Tenaga surya adalah energi yang berasal dari matahari

Tenaga surya hadir dalam panas dan cahaya. Energi dalam bentuk panas bisa dipakai secara langsung maupun tidak langsung. Beberapa contoh dari pemakaian langsung adalah menghangatkan rumah, memasak dan menyediakan

air panas. Sedangkan contoh pemakaian tidak langsung adalah pembangkit tenaga listrik dan angin.

2.3 Keunggulan dan kelemahan energi surya

Energi surya disebut-sebut oleh banyak orang sebagai sumber energi utama di masa depan, jadi mari kita melihat keunggulan dan kelemahan energi surya. Energi surya memiliki keunggulan yang lebih banyak dibandingkan dengan kelemahannya, tapi kelemahan ini masih merupakan batu sandungan utama untuk pemakaian energi surya yang lebih luas. Sekarang pertama-tama kita akan membahas keunggulan dari energi surya.

Kita sudah mengetahui, bahwa energi surya merupakan sumber energi terbarukan. Matahari hampir tak terbatas sebagai sumber energi, dan energi surya tidak dapat habis, tidak seperti bahan bakar fosil yang akhirnya akan habis. Setelah bahan bakar fosil habis, dunia akan memerlukan alternatif sumber energi yang baik, dan energi surya jelas terlihat sebagai salah satu alternatif terbaik.

Energi surya merupakan sumber energi yang ramah lingkungan karena tidak memancarkan emisi karbon berbahaya yang berkontribusi terhadap perubahan iklim seperti pada bahan bakar fosil. Setiap watt energi yang dihasilkan dari matahari berarti kita telah mengurangi pemakaian bahan bakar fosil, dan dengan demikian kita benar-benar telah mengurangi dampak perubahan iklim. Penelitian terbaru melaporkan bahwa rata-rata sistem rumah surya mampu mengurangi 18 ton emisi gas rumah kaca di lingkungan setiap tahunnya. Energi surya juga tidak memancarkan oksida nitrogen atau sulfur dioksida yang berarti tidak

menyebabkan hujan asam atau kabut asap. Matahari merupakan sumber energi yang benar-benar bebas untuk digunakan oleh setiap orang. Tidak ada yang memiliki Matahari, jadi setelah Anda menutupi biaya investasi awal, pemakaian energi selanjutnya dapat dikatakan gratis.

Lebih banyak energi matahari yang kita gunakan maka semakin sedikit kita bergantung pada bahan bakar fosil. Ini berarti akan meningkatkan ketahanan dan keamanan energi, karena akan mengurangi kebutuhan impor minyak dari pihak asing. Dalam jangka panjang energi surya akan menghemat pengeluaran uang untuk energi. Biaya awalnya memang cukup signifikan, namun setelah beberapa waktu, anda akan memiliki akses ke energi yang benar-benar gratis, dan jika sistem rumah tenaga surya menghasilkan energi yang lebih dari yang Anda butuhkan, di beberapa negara perusahaan listrik dapat membelinya dari Anda, yang berarti ada potensi keuntungan ekstra terlibat. Ada juga banyak negara yang menawarkan insentif keuangan untuk menggunakan energi surya.

Panel surya beroperasi tanpa mengeluarkan suara (tidak seperti turbin angin besar) sehingga tidak menyebabkan polusi suara. Panel surya biasanya memiliki umur yang sangat lama, minimal 30 tahun, dan biaya pemeliharannya sangat rendah karena tidak ada bagian yang bergerak. Panel surya juga cukup mudah untuk diinstal. Energi surya adalah salah satu pilihan energi terbaik untuk daerah-daerah terpencil, bilamana jaringan distribusi listrik tidak praktis atau tidak memungkinkan untuk di-instal. Kelemahan utama dari energi surya adalah biaya awal yang tinggi. Panel surya terbuat dari bahan mahal, bahkan dengan penurunan harga yang terjadi hampir setiap tahun, harganya tetap terasa mahal.

Panel surya juga perlu untuk ditingkatkan efisiensinya. Untuk mencapai tingkat efisiensi yang memadai dibutuhkan lokasi instalasi yang luas, dan panel surya ini idealnya diarahkan ke matahari, tanpa hambatan seperti pohon dan gedung tinggi, untuk mencapai tingkat efisiensi yang diperlukan. Energi surya membutuhkan solusi penyimpanan energi murah dan efisien karena matahari adalah sumber energi *intermiten* (tidak kontinyu). Proyek-proyek energi surya skala besar (pembangkit listrik tenaga surya yang besar) akan membutuhkan lahan yang luas, dan banyak air untuk tujuan pendinginan.

Banyak daerah di dunia yang tidak memiliki cukup sinar matahari untuk menjadikan energi surya bernilai ekonomis. Karena itu, solusi ilmiah yang lebih maju sangat diperlukan untuk membuat energi surya menjadi komersial di daerah-daerah tersebut. Seperti yang telah disebutkan di atas, energi surya benar-benar memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan kekurangannya, tetapi biaya awal yang tinggi dan masalah efisiensi tidak dapat diabaikan.

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber penghasil listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu alternatif dari sistem pembangkit untuk daerah yang memang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN dan PLTD maupun daerah yang jaringan listriknya kurang baik.

PLTS merupakan peralatan pembangkit listrik yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Maka dalam kaitannya ini meskipun cuaca

mendung, selama masih terdapat cahaya matahari, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik. PLTS pada dasarnya adalah alat yang menyediakan daya dan dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun dengan *Hybrid* (dikombinasikan dengan sumber energi lain, seperti PLTS-genset, PLTS-*Microhydro*, PLTS-Angin), baik dengan metode desentralisasi atau sistem terdistribusi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode sentralisasi (listrik didistribusikan dengan gardu dan jaringan kabel).

2.5 Keunggulan dan kelemahan PLTS

Keuntungan PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan suatu system energi yang bersih dan menghasilkan listrik dari sinar matahari. Memakai tenaga matahari tersedia melimpah dan gratis. Berikut ini adalah keuntungan menggunakan PLTS :

- a. Sumber energi yang dipakai tidak pernah habis dan sangat ramah lingkungan.
- b. Dapat dipakai dimana saja terutama didaerah yang belum terjangkau listrik PLN.
- c. Tidak memerlukan perawatan kusus sehingga bebas dari segala biaya perawatan.
- d. Hemat karena tidak memerlukan bahan bakar.
- e. Bersifat moduler artinya kapasitas listrik yang dihasilkan dapat sesuai dengan kebutuhan.
- f. Tanpa suara sehingga tidak mengganggu ketertiban umum.

- g. Ramah lingkungan
- h. Pemasangannya sangat mudah.

Kelemahan PLTS

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

- a. Masalah utama dalam pembangunan ini ialah besarnya biaya pembangunan pembangkit ini
- b. Memiliki ketergantungan pada cuaca. Saat mendung kemampuan panel surya menangkap sinar matahari tentu akan berkurang. Akibatnya, plts tidak bias digunakan secara optimal.

2.6 Komponen – komponen PLTS

2.6.1 Sel Surya

Sel surya ialah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung. Sinar matahari terdiri dari foton dengan tingkat energi yang berbeda, tergantung *spectrum* dari mana mereka berasal. Ketika sinar matahari menyerang permukaan, bahan fotovoltaiik itu menyemburkan elektron yang menghasilkan generasi listrik. Alat ini bekerja melalui suatu mekanisme yang dikenal dengan nama efek fotovoltaiik. Bila kita mendengar kata foto, tentu saja berkaitan dengan kata cahaya. Karena kata foto berasal dari kata foton yang berarti partikel cahaya atau unit-unit penyusun cahaya. Kata volt tentu saja berhubungan dengan bidang kelistrikan. Volt merupakan satuan yang digunakan untuk menyatakan besarnya tegangan / beda potensial antara 2 kutub yang berbeda (positif dan negative).

Sel surya atau *solar cell* terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari *solar cell*. *Solar cell* pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semi konduktor dengan kutub positif dan negative. Pada dasarnya sel surya ini terdiri atas sambungan P (positif) dan N (negative) yang sama fungsinya dengan sebuah diode. Sederhananya, ketika sinar matahari mengenai permukaan sel surya, energi yang dibawa oleh sinar matahari ini akan diserap oleh elektron pada sambungan P – N untuk berpindah dari bagian diode P – N dan untuk selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke sel.

2.6.1.1 Jenis – jenis dan Struktur Sel surya

Untuk menentukan bagus tidaknya sebuah sel surya digunakan istilah *Efficiency*. Menentukan nilai efisiensi ini menggunakan rumus yang rumit dengan berbagai persyaratan dan dihitung dalam persen (%). Namun kita definisikan saja secara sederhana yaitu, perbandingan energi listrik yang dihasilkan dari suatu sel surya terhadap energi sinar matahari yang mengenai permukaan sel surya tersebut.

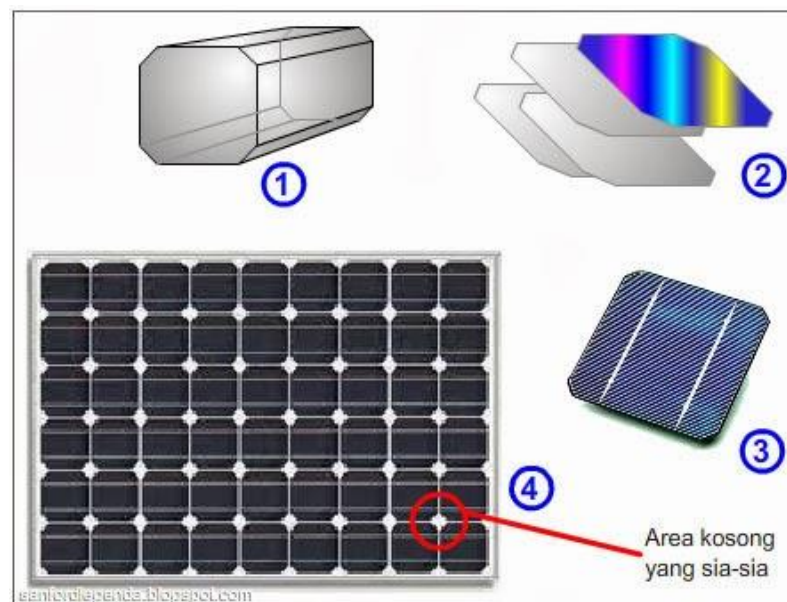
Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar sel surya dibagi dalam tiga jenis, yaitu:

1 Monocrystalline

Jenis ini terbuat dari batangan Kristal silikon murni yang diiris tipis – tipis. Kristal silikon murni yang membutuhkan teknologi khusus untuk

mengirisnya menjadi kepingan – kepingan Kristal silicon yang tipis. Dengan teknologi seperti ini, akan dihasilkan kepingan sel surya yang identic satu sama lain dan berkinerja tinggi. Sehingga menjadi sel surya yang paling efisien dibandingkan jenis sel surya lainnya, sekitar 15% - 20 %. Mahalnya harga kristal silicon murni dan teknologi yang digunakan, menyebabkan mahalnya harga jenis sel surya ini dibandingkan jenis sel surya yang lain di pasaran.

Kelemahannya, sel surya 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 2.1 Panel Surya Jenis *Monocrystalline*

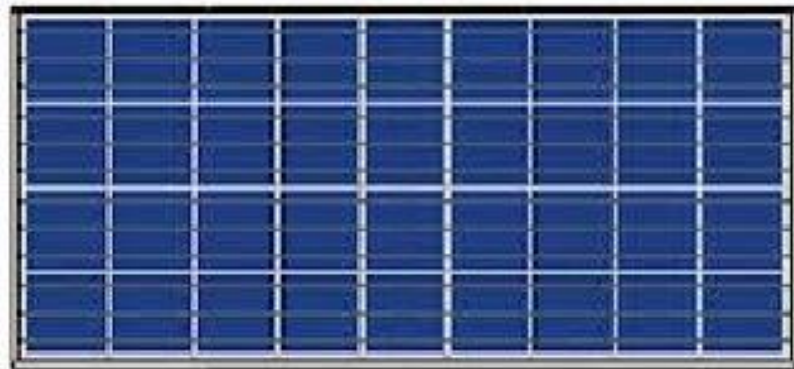
Keterangan gambar :

1. Batangan Kristal silikon murni
2. Irisan Kristal silikon yang sangat tipis

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 identic 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 ruang kosong yang sia – sia seperti susunan pada panel surya *monocrystalline* di atas. Proses pembuatannya lebih mudah dibandingkan *monocrystalline*, karenanya harga lebih murah. Jenis ini paling banyak dipakai saat ini.



Gambar 2.2 Panel Surya jenis *polycrystalline*

3 *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

Jenis 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 2.3 panel surya jenis *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

Berdasarkan materialnya, sel surya thin film ini digolongkan menjadi:

A. *Amorphous Silicon (a-Si) Solar Cells.*

Sel surya dengan bahan *amorphous Silicon* ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut “*stacking*” (susun lapis), dimana beberapa lapis *Amorphous Silicon* ditumpuk

B. *Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.*

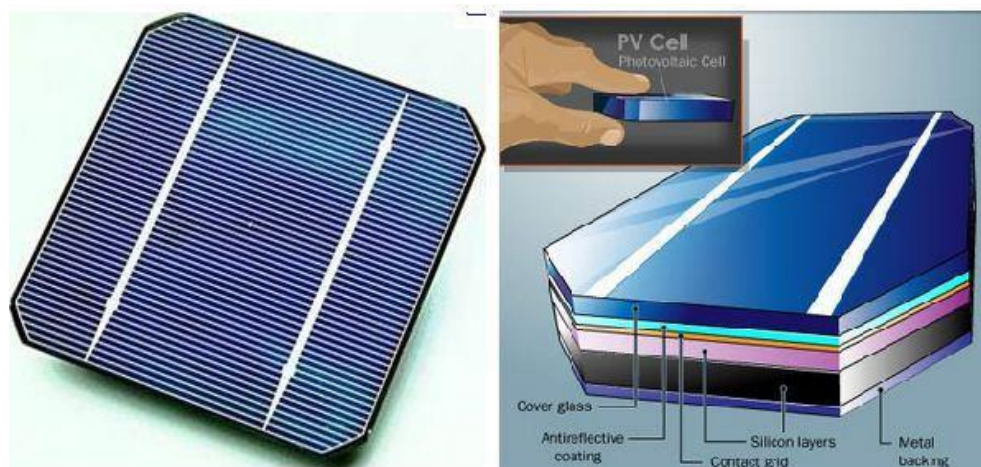
Sel surya jenis ini mengandung bahan *Cadmium Telluride* yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya *Amorphous Silicon*, yaitu sekitar 9% - 11%

C. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.*

Dibandingkan kedua jenis sel surya *thin film* diatas, CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya *Cadmium* seperti pada sel surya CdTe.

4 Struktur Sel Surya

Berikut gambar yang menunjukkan ilustrasi sel surya dan juga bagian - bagiannya



Gambar 2.4 Ilustrasi sel surya

Secara umum terdiri dari:

A. Substrat / *Metal backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminum atau molybdenum

B. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis.

C. Kontak metal / *contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

D. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan

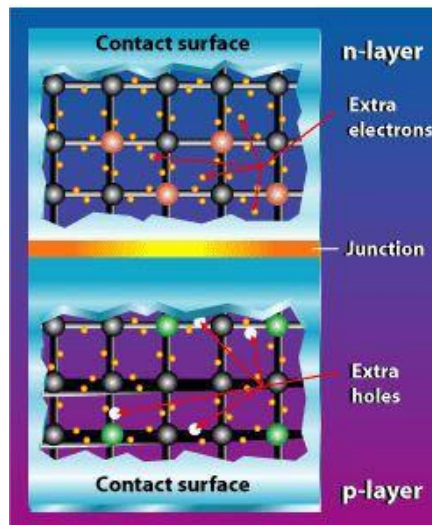
tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

E. Enkapsulasi / *cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

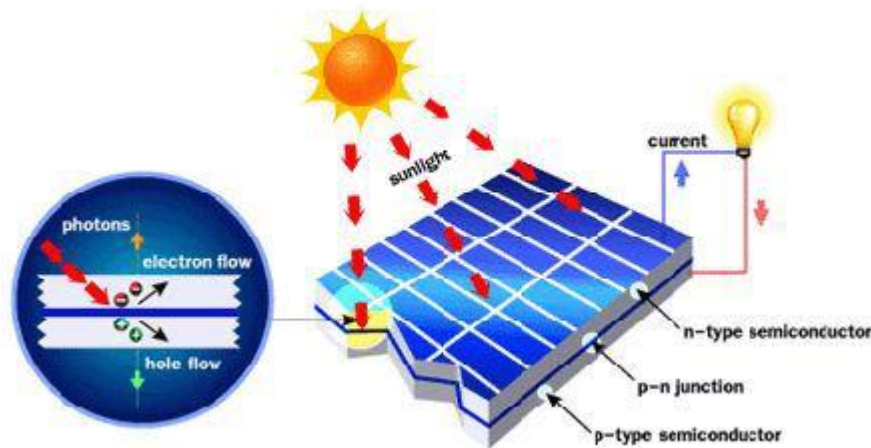
2.6.1.2 Cara kerja sel surya

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah menggambarkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 2.5 Junction antara semikonduktor tipe-p (kelebihan hole) dan tipe-n (kelebihan electron).

Peran dari p-n *junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan *hole* ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n *junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar dibawah.



Gambar 2.6 elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif

2.6.1.3 Efisiensi Panel Surya

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti diode, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial dapat menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm². Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28 – 36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 16 V. Tegangan ini cukup untuk digunakan mengecas aki sebesar 12 V. modul surya tersebut bisa digabungkan secara parallel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus outputnya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Dalam proses pencarian sel surya yang layak, ukuran lebih besar tidak selalu berarti akan lebih baik. Dengan membuat panel

surya yang berukuran lebih besar untuk mengumpulkan cahaya lebih terbukti lebih mahal, dan lebih sulit untuk perawatan.

2.6.2 Solar Charge 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 voltase dari panel surya / *solar cell*. Kelebihan voltase dan 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.

2.6.3 Baterai

Baterai (akku) atau akkumulator adalah alat yang digunakan untuk menyimpan energi listrik agar sewaktu - waktu dapat kita gunakan. Daya listrik yang hendak dipergunakan dimasukkan ke dalam akkumulator, dimana akkumulator diubah menjadi daya usaha sedara kimia, jika kita hendak mempergunakan daya listrik, kita pakai daya usaha secara kimia ini. Kalau pada akkumulator yang telah terisi daya listrik dipasang suatu alat yang membutuhkan daya listrik maka tenaga kimia di dalam akkumulator tadi diubah menjadi daya listrik kembali kemudian mengosongkan akkumulator.

2.6.4 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*). Tegangan keluarannya dapat tetap atau variable dengan frekuensi yang tetap atau variable pula. Tegangan keluaran variable dapat ditentukan dengan mengubah tegangan keluaran masukan DC nya, dimana dalam hal ini penguatan dari inverter dijaga untuk tetap konstan.

2.6.5 Beban (Load)

Beban adalah peralatan yang mengkonsumsi daya yang dihasilkan oleh sistem daya anda. Beban mungkin termasuk peralatan komunikasi nirkabel, lampu jalan, lampu penerangan rumah atau gedung, TV, radio dan lain – lain.