

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Energi Surya<sup>[8]</sup>**

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel, ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara.

Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar. Potensi energi surya pada suatu wilayah sangat bergantung pada posisi antara matahari dengan kedudukan wilayah tersebut dipermukaan bumi. Potensi ini akan berubah tiap waktu, tergantung dari kondisi atmosfer, dan lokasi (garis lintang) serta waktu (hari dalam setahun dan jam dalam sehari). Indonesia yang berada dalam wilayah khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahunnya.

#### **2.2 Prinsip Dasar Energi Surya**

Setiap lokasi di Bumi menerima sinar matahari setidaknya bagian dari tahun. Jumlah radiasi matahari yang mencapai setiap daerah di permukaan bumi bervariasi sesuai dengan:

- Lokasi Geografis
- Waktu Hari
- Musim
- Lanskap Lokasi

---

<sup>[8]</sup> Ir. Sutarno, "Sumber Daya Energi", (Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013), Hlm.131-132

- Cuaca Lokasi

Karena bumi itu bulat, matahari menyerang permukaan pada sudut yang berbeda, mulai dari  $0^\circ$  (tepat di atas cakrawala) sampai  $90^\circ$  (tepat di atas kepala). Ketika sinar matahari yang vertikal, permukaan bumi mendapatkan semua energi mungkin. Sinar matahari lebih miring adalah, semakin lama mereka melakukan perjalanan melalui atmosfer, semakin tersebar dan menyebar. Karena bumi itu bulat, daerah kutub dingin tidak pernah mendapatkan sinar matahari yang tinggi, dan karena sumbu rotasi miring, bidang ini menerima sinar matahari sama sekali selama bagian dari tahun.

Bumi berputar mengelilingi matahari dalam orbit elips dan lebih dekat dengan matahari selama bagian dari tahun. Ketika matahari lebih dekat bumi, permukaan bumi menerima energi sedikit lebih surya. Bumi adalah dekat matahari saat itu adalah musim panas di belahan bumi selatan dan musim dingin di belahan bumi utara. Namun, kehadiran moderat lautan luas musim panas lebih panas dan musim dingin satu akan mengharapkan untuk melihat di belahan bumi selatan sebagai akibat dari perbedaan ini.

Kemiringan rotasi  $23,5^\circ$  di poros bumi adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan jumlah sinar matahari memukul bumi di lokasi tertentu. Rotasi bumi juga bertanggung jawab untuk variasi per jam di sinar matahari. Pada sore hari dan akhir awal, matahari rendah di langit. Sinarnya perjalanan lebih jauh melalui atmosfer daripada di siang hari, ketika matahari berada pada titik tertinggi. Pada hari yang cerah, jumlah terbesar dari energi matahari mencapai kolektor surya sekitar tengah hari surya.

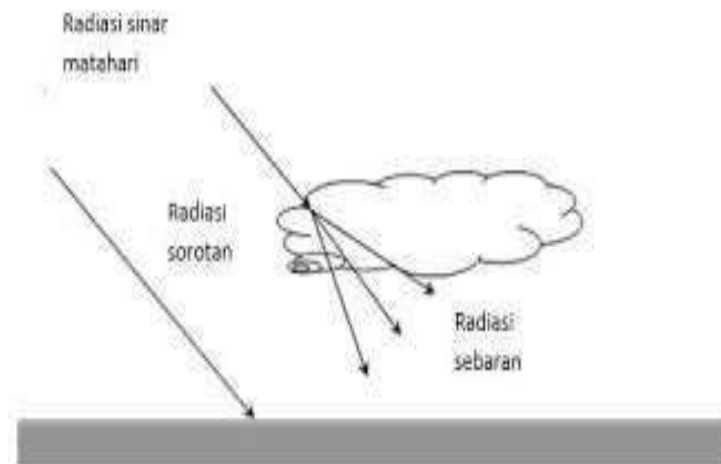
### 2.3 Radiasi Matahari<sup>[11]</sup>

Radiasi matahari yang tersedia di luar atmosfer bumi atau sering disebut konstanta radiasi matahari sebesar  $1353 \text{ W/m}^2$  dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek

---

<sup>[11]</sup> Budi Yuwono, "Optimalisasi panel sel surya dengan menggunakan sistem pelacak berbasis mikrokontroler AT89C51," pp. 25–26, 2005.

(ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang- gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipencarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Radiasi Sorotan Dan Radiasi Sebaran Yang Mengenai Permukaan Bumi

Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi.

#### 2.4 Intensitas Cahaya<sup>[10]</sup>

Intensitas cahaya matahari yaitu besar kecilnya sudut datang sinar Matahari pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan yang luas dan juga karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang lebih jauh ketimbang jika sinar dengan sudut datang yang tegak lurus.

<sup>[10]</sup> Subekti Yuliananda, dkk, "Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya", Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya, Vol.1, No.2, November 2015, Hlm.194

Untuk mengukur intensitas cahaya digunakan sebuah alat yang bernama intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan. Biasanya digunakan di dalam ruangan. Kebutuhan pencahayaan setiap ruangan terkadang berbeda. Semuanya tergantung dan disesuaikan dengan kegiatan yang dilakukan. Untuk mengukur tingkat pencahayaan dibutuhkan suatu alat yang bisa bekerja secara otomatis mampu mengukur intensitas cahaya dan menyesuaikannya dengan cahaya yang dibutuhkan.

Pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter yang menghasilkan nilai intensitas cahaya dengan satuan lux. Tidak ada konversi langsung antara lux dan  $W/m^2$  itu tergantung pada panjang gelombang atau warna cahaya. Sehingga untuk mendapatkan konversi antara lux dan  $W/m^2$  perlu dilakukan percobaan.

## 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)<sup>[6]</sup>

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya (cahaya) 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 fotolistrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor (panas) seperti mesin stirling atau lainnya.



Gambar 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

---

<sup>[6]</sup> Tri Joko Pranomo, dkk, "Implementasi Logika Fuzzy Untuk Sistem Otomatisasi Pengaturan Pengisian Batere Pembangkit Listrik Tenaga surya", Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol.9 No 2, Juni 2017, hal.113

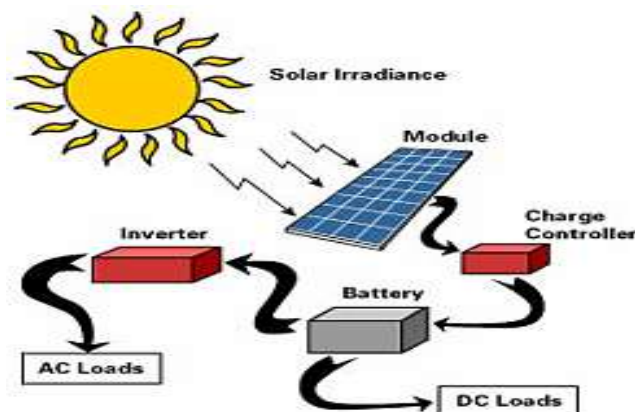
Indonesia memiliki karunia sinar matahari yang hampir sepanjang tahun ada karena Indonesia terletak di wilayah katulistiwa. Hampir di setiap pelosok Indonesia, matahari menyinari sepanjang pagi sampai sore. Energi matahari yang dipancarkan dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya / solar cell.

Pembangkit listrik tenaga surya termasuk pembangkit listrik ramah lingkungan, dan sangat menjanjikan. Sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan pembangkit listrik menggunakan uap dengan minyak dan batu bara.

Perkembangan teknologi dalam membuat panel surya / solar cell semakin hari semakin lebih baik terutama dalam meningkatkan tingkat efisiensi, pembuatan aki yang tahan lama, pembuatan alat elektronik yang dapat menggunakan Direct Current. Pada saat ini penggunaan tenaga matahari (solar cell) masih mahal karena tidak adanya subsidi dari pemerintah.

## **2.6 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Cara kerja dari pembangkit listrik tenaga surya cukup sederhana. Komponen utama dari sumber energi ini adalah sel fotovoltaik. Sel tersebut memiliki peranan untuk menangkap panas matahari yang kemudian akan diubah menjadi energi listrik. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, jenis pembangkit listrik ini diklaim lebih ramah lingkungan, murah dan hampir tidak memiliki polusi ataupun limbah, hal tersebut merupakan beberapa keuntungan dari pembangkit listrik ini. Setelah panas matahari ditangkap oleh sel fotovoltaik lalu panas tersebut akan digunakan untuk memanaskan cairan yang selanjutnya menjadi uap yang dihasilkan akan dipanaskan oleh sebuah generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya prinsip kerja dari pembangkit listrik jenis ini hampir sama seperti cara kerja pembakaran bahan bakar fosil dalam pengolahannya. Yang membedakan dari pembangkit listrik bahan bakar fosil dan pembangkit listrik tenaga matahari ini adalah uap yang dihasilkan bukan dari pembakaran minyak fosil, akan tetapi dari tenaga surya atau cahaya matahari.



Gambar 2.3 Cara Kerja PLTS

Panel surya atau solar cell sebagai komponen penting pembangkit listrik tenaga surya, mendapatkan tenaga listrik pada pagi sampai sore hari sepanjang ada sinar matahari. 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 dapat digunakan pada malam hari, dimana tanpa sinar matahari. Karena pembangkit listrik tenaga surya sangat tergantung kepada sinar matahari, maka perencanaan yang baik sangat diperlukan. Berapa besar arus yang dihasilkan panel surya atau solar cell (dalam Ampere hour), dalam hal ini memperhitungkan berapa jumlah panel surya / solarcell yang harus dipasang. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan pertimbangan penggunaan tanpa sinar matahari. (Ampere hour).

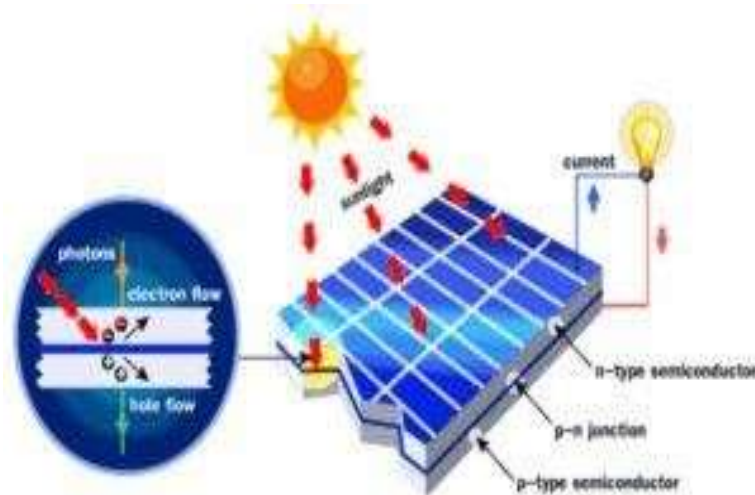
## 2.7 Panel Surya<sup>[7]</sup>

Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal. Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut

<sup>[7]</sup> Rifaldo Pido, dkk, "Analisa pengaruh Kenaikkan Temperatur Permukaan *Solar Cell* Terhadap Daya Output", Jurnal of Infrastructure & Science Engineering Vol.2, No.2, Oktober 2019, Hlm.25-26

sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya listrik".

Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi. Sel Surya (*Photovoltaic*) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri maupun parallel, untuk meningkatkan tegangan maupun arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modulsurya harus selalu mengarah ke matahari. *Solar cell* terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Pada umumnya, *solar cell* merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic* berupadaya listrik DC.



Gambar 2.4 Cara Sel Surya PV Bekerja

Berikut ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari panel surya.

#### 1. Temperature Lingkungan

Temperatur lingkungan sangatlah berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Temperaturnya tetap normal (yaitu pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal akan menurunkan nilai tegangan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 10 °C dari 25 °C akan mengurangi sekitar 0,4 % dari total tegangan yang dihasilkan atau akan melemah dua kali

lipat pada kenaikan temperatur panel per 100 °C. Suhu memiliki peranan penting dalam panel surya. Pada saat suhu pada panel surya tinggi terjadi penurunan pada panel surya mencapai 20 °C.

## 2. Intensitas Cahaya Matahari

Arus yang dihasilkan panel surya sangatlah bergantung pada intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaannya. Semakin besar intensitas cahaya matahari, maka semakin besar arus yang dihasilkan.

## 3. Kondisi Angin

Semakin besar angin yang bertiup disekitar panel maka akan membantu menurunkan suhu permukaan panel surya, sehingga tegangan keluaran dapat terjaga.

## 4. Kondisi Cuaca

Keadaan cuaca seperti berawan, mendung, berkabut, hingga tingkat kelembapan dan kondisi lainnya akan mempengaruhi tegangan keluaran dari panel surya.

## 5. Posisi Panel Surya terhadap Matahari

Posisi dimana cahaya matahari tegak lurus terhadap permukaan panel menentukan arus yang dihasilkan, semakin tegak permukaan panel surya terhadap matahari maka semakin maksimal intensitas cahaya yang diserap oleh panel surya, sehingga posisi panel surya sangat tergantung terhadap waktu dari pergerakan posisi matahari dari terbit sampai terbenam.

## 2.8 Jenis-Jenis Panel Surya<sup>[1]</sup>

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

### 1. Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik

---

<sup>[1]</sup> Tommy Alamsyah, dkk, "Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel *Mono-Crystalline* dan *Poly-Crystalline* di Kota Pontianak dan Sekitarnya", Hlm. 2



besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisialam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharianya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.5 Panel Surya *Mono-crystalline*

## 2. Polikristal (Poly-Crystalline)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.



Gambar 2.6 Panel Surya *Poly-Crystalline*

### 3. *Thin Film*

Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) dengan daya yang setara.



Gambar 2.7 Panel Surya *Thin Film*

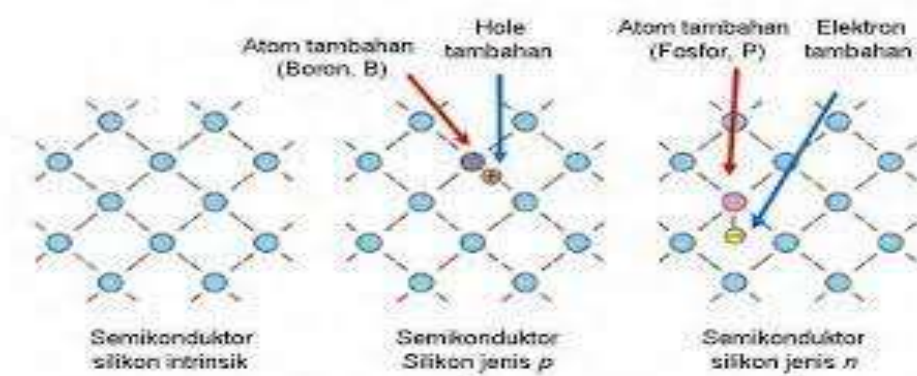
### 2.9 Karakteristik Panel Surya

Solar Cell pada umumnya memiliki ketebalan 0.3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub (+) dan kutub (-). Apabila suatu cahaya jatuh pada permukaannya maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan yang tentunya dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor listrik yang berdaya DC. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar bisa menghubungkan solar cell secara seri atau paralel Panel surya dapat beroperasi secara maksimum tergantung sifat penggunaannya. Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek/ arus rangkaian pendek” atau ISC (short circuit current), yang sebanding dengan iradiansi terhadap sel surya dapat diukur.

## 2.10 Prinsip Kerja Panel Surya<sup>[3]</sup>

Struktur sel surya yaitu berupa dioda sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing diketahui sebagai semikonduktor jenis *p* (positif) dan semikonduktor jenis *n* (negatif). Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif. Sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan *hole*, sehingga kelebihan muatan positif.

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini karena divais sel surya memiliki struktur dioda, yaitu tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis *n* dan jenis *p*. Caranya dengan menambahkan unsur lain ke dalam semikonduktor, maka kita dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut.



Gambar 2.8 Ilustrasi pembuatan silikon jenis *p* dan *n*

Di dalam semikonduktor alami (semikonduktor intrinsik) ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas darisebuah semikonduktor.

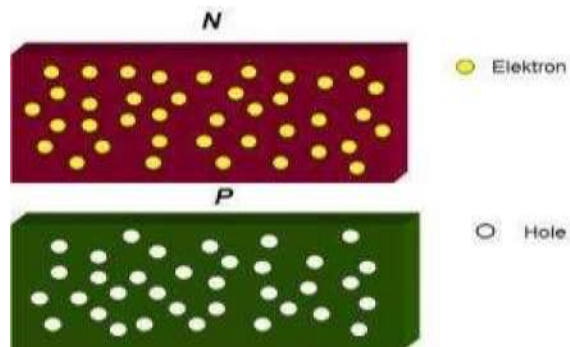
Semikonduktor intrinsik yang dimaksud ialah silikon (Si). Semikonduktor jenis *p*, biasanya dibuat dengan menambahkan unsur boron (B), aluminum (Al), gallium (Ga) atau Indium (In) ke dalam Si. Unsur-unsur tambahan ini akan menambah jumlah *hole*, sedangkan semikonduktor jenis *n* dibuat dengan menambahkan nitrogen (N), fosfor

<sup>[3]</sup> Montario Chandra Buwono. 2010. Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Arus Sel Surya dengan Rekonfigurasi Seri-paralel. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia

(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  $10^{-7}$  dibandingkan dengan berat Si yang akan di-*doping*.

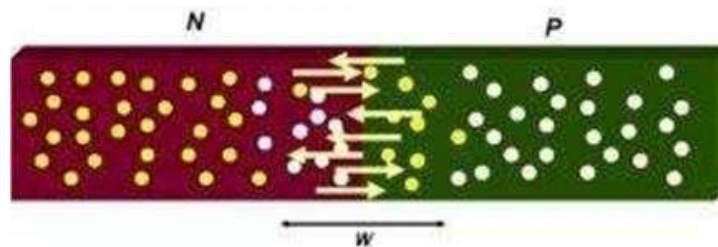
Dua jenis semikonduktor *n* dan *p* ini jika disatukan akan membentuk sambungan *pn* atau dioda *p-n* (istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi/*metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut

a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



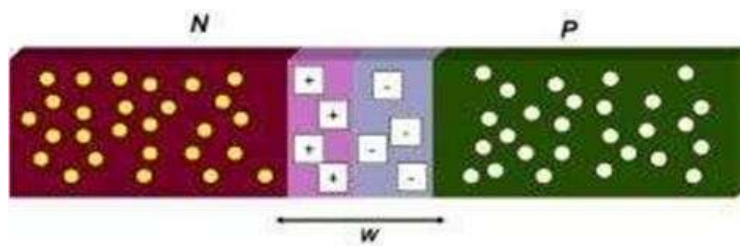
Gambar 2.9 Semikonduktor jenis p dan n Sebelum Disambung

b. 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.



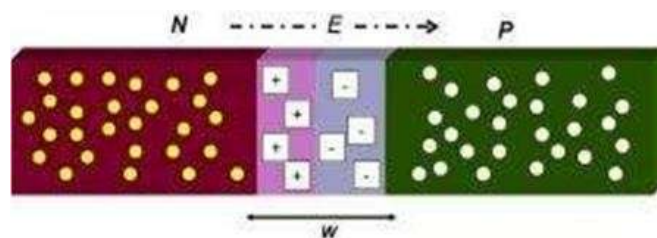
Gambar 2.10 Perpindahan Elektron dan Hole pada Semikonduktor

- c. 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 negatif. 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 2.11 Hasil Muatan Positif dan Negatif pada Semikonduktor

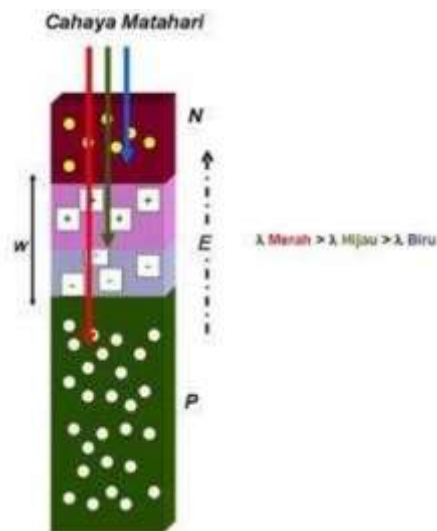
- d. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
- e. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeban.
- f. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal. Medan listrik positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n.



Gambar 2.12 Timbulnya Medan Listrik Internal E

- g. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berad Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi. a 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.

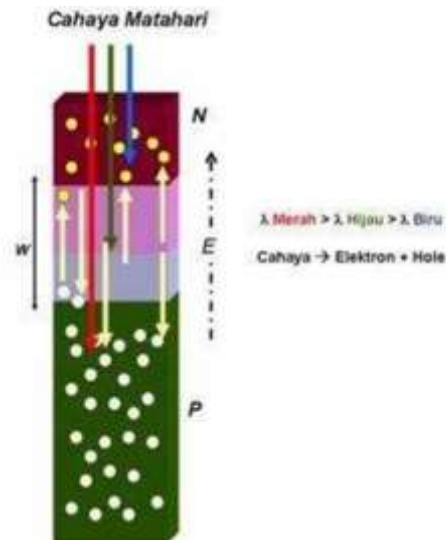
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke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



Gambar 2.13 Sambungan Semikonduktor Terkena 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 foto generasi electron *hole* yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.

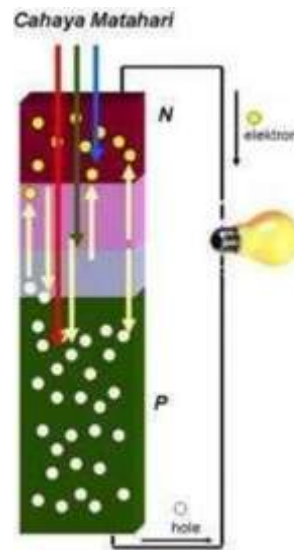


Gambar 2.14 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lamda” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat foto generasi 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 semikonduktorn.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil foto generasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitupula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan kedua 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 2.15 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihungkan Ke Lampu

## 2.11 Komponen Pendukung Pembangkit Listrik Tenaga Surya

### 2.11.1 Solar Charger Controller<sup>[4]</sup>

*Solar charge controller* atau biasa juga disebut dengan Regulator baterai adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Regulator baterai juga mengatur kelebihan mengisi baterai dan kelebihan tegangan dari modul surya. Manfaat dari alat ini juga untuk menghindari *full discharge* dan *overloading* serta memonitor suhu baterai. Kelebihan tegangan dan pengisian dapat mengurangi umur baterai. *Regulator* baterai dilengkapi dengan *diode protection* yang menghindarkan arus DC dari baterai agar tidak masuk ke panel surya lagi.



Gambar 2.16 *Solar Charger Controller*

<sup>[4]</sup> M. Irwansyah, D. Istaridi, and M. Sc, "Pompa Air Aquarium Menggunakan Solar Panel," vol. 5, no. 1, pp. 85–90, 2013.



Fungsi dari *charge controller* antara lain:

1. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*. Apabila baterai dalam keadaan kondisi sudah terisi penuh maka listrik yang disuplai dari modul surya tidak akan dimasukan lagi pada baterai dan sebaliknya juga jika keadaan kondisi baterai sudah kurang dari 30% maka *charge controller* tersebut akan mengisi kembali baterai sampai penuh. Proses pengisian baterai dan modul surya tersebut melalui *charge controller* akan terus berulang secara otomatis *smart charging* selama energi surya masih cukup untuk bias diproses oleh modul surya selama matahari terangbenderang. *Charge controller* juga berfungsi melindungi baterai ketika sedangmengalami proses pengisian dari modul surya untuk menghindari arus berlebih dari proses pengisian tersebut, yang akan menyebabkan kerusakan pada baterai.
2. Mengatur arus yang dibebaskan atau diambil dari baterai agar baterai tidak *fulldischarge* dan *overloading*.
3. *Monitoring* temperatur baterai *Charge controller* biasanya terdiri dari satu input dua terminal yangterhubung dengan output panel sel surya, satu output dua terminal yangterhubung dengan baterai/aki dan satu output dua terminal yang terhubungdengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkinmasuk ke panel surya karena biasanya ada diode proteksi yang hanyamelewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya.

### 2.11.2 Baterai<sup>[2]</sup>

Baterai pada PLTS berfungsi untuk menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk mengoperasikan beban. Beban dapat berupa lampu refrigerator atau peralatan elektronik dan peralatan lainnya yang membutuhkan listrik DC. *Accumulator* atau yang akrab disebut accu/aki adalah salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor. Selain

---

<sup>[2]</sup> Khamarruzaman Ali, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Listrik Pada Shelter Di Masjid Muhajirin Pasir Putih Tabing Padang,” 2016.

berfungsi untuk menggerakkan motor starter, aki juga berperan sebagai penyimpan listrik dan sekaligus sebagai penstabil tegangan dan arus listrik kendaraan. Menurut Syam Hardi akumulator ini berasal dari bahasa asing yaitu: *accu (mulator) = baterai* (Belanda), *accumulator = storage battery* (Inggris), *akkumulator = bleibatterie* (Jerman). Pada umumnya semua bahasa-bahasa itu mempunyai satu arti yang dituju, yaitu “*accumulate*” atau *accumuleren*. Ini semua berarti menimbun, mengumpulkan atau menyimpan. Menurut Daryanto akumulator adalah baterai yang merupakan suatu sumber aliran yang paling populer yang dapat digunakan dimana-mana untuk keperluan yang beraneka ragam.

Akumulator dapat diartikan sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik *reversible* dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses perubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam akumulator.

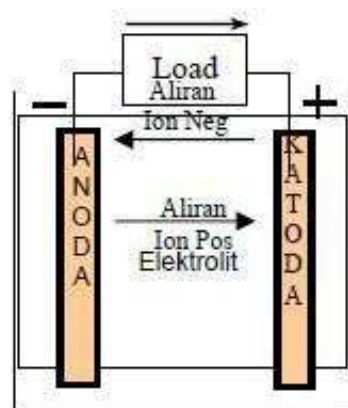
Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik di dalam akumulator dan disimpan di dalamnya. Sedangkan saat pengosongan, tenaga di dalam akumulator diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk mencatu energi dari suatu peralatan listrik. Dengan adanya proses tersebut akumulator sering dikenal dengan elemen primer dan sekunder. Untuk dapat melihat lebih jelas berikut adalah salah satu bentuk dari akumulator. Pada baterai jenis ini larutan elektrolit tidak dapat ditambahkan sehingga tidak diperlukan perawatan baterai secara khusus. *Baterai* tidak seratus persen *efisien*, beberapa energi hilang seperti panas dari reaksi kimia, selama *charging* dan *discharging*. *Charging* adalah saat energi listrik diberikan kepada baterai, *Discharging* adalah pada saat energi listrik diambil dari baterai. *Satu cycle* adalah *charging* dan *discharging*. Dalam sistem *solar cell*, satu hari dapat merupakan contoh *satu cycle* baterai (sepanjang hari *charging*, malam digunakan/ *discharging*).



Gambar 2.17 Baterai atau Aki

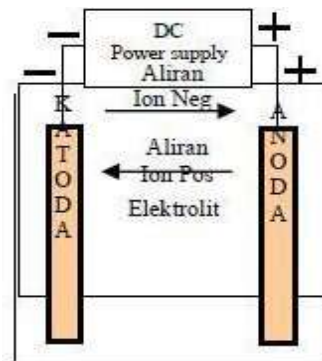
Prinsip kerja baterai atau aki sebagai berikut :

1. Proses pengosongan (*discharge*) pada sel berlangsung menurut gambar. jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda. Bentuk dari proses pengosongan baterai tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.18 Pengosongan Baterai

2. Proses pengisian (*charge*) Apabila sel dihubungkan dengan *powersupply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi. Bentuk dari proses pengisian baterai tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.19 Pengisian Baterai

## 2.12 Cermin Datar<sup>[9]</sup>

Cermin datar dibentuk dari permukaan datar atau dapat juga dikatakan sebagai bagian luar (atau dalam) dari suatu permukaan silinder (atau bola) dengan jari-jari tak hingga. Cermin datar akan memantulkan berkas-berkas sejajar cahaya datang menjadi berkas-berkas cahaya pantul yang sejajar satu sama lain.



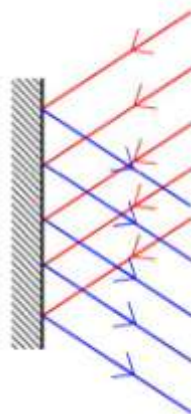
Gambar 2.20 Cermin Datar

Terdapat sifat cermin datar saat dikenai berkas cahaya seperti berikut ini:

- a. Bayangan pada benda akan terjadi tegak dan semu.
- b. Bayangan semu merupakan bayangan yang bisa di lihat ke dalam cermin akan tetapi pada tempat bayangan tersebut tidak ditemukan cahaya pantul.

<sup>[9]</sup> H. S. Utomo, "Optimalisasi Nilai Daya Dan Energi Listrik Pada Panel Surya Polikristal Dengan Teknologi Scanning Reflektor Cermin Datar," Univ. Jember, pp. 1–76, 2016.

- c. Pada bayangan tersebut, besar dan tingginya sama dengan besar dan tinggi pada benda sebenarnya.
- d. Pada jarak bayangan benda sama dengan jarak benda dengan cermin.
- e. Pada bagian kanan bayangannya merupakan bagian kiri pada benda sebenarnya dan juga sebaliknya.



Gambar 2.21 Pantulan Cermin Datar

### 2.13 Arus Dan Tegangan<sup>[5]</sup>

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

<sup>[5]</sup> Makruf, R. Rahmadhani, P. S. Ningsih, W. Jayaditama, and N. Rani, "Pengukuran Tegangan , Arus , Daya Pada Prototype PLTS Berbasis Mikrokontroler Arduin Uno," vol. 5, no. 1, pp. 8–16, 2020.

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 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 electron yang mengalir atau besarnya arus, hubungan tersebut ditunjukkan pada rumus di bawah ini :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

$P$  = Daya (Watt)

$V$  = Tegangan (Volt)

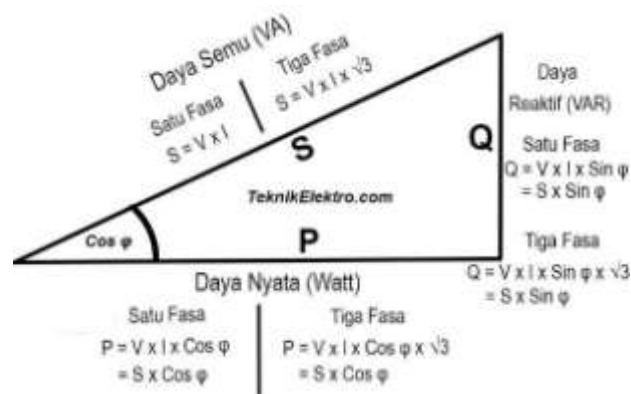
$I$  = Arus (Amper)

## 2.14 Pengertian Daya<sup>[12]</sup>

Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bola-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif.

Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

1. Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energy, persatuan waktu atau dengan kata lain adalah daya yang benar - benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif , satuannya adalah Watt (W)
2. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi Daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (X) dan reaktansi kapasitif (X), satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR)
3. Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan Volt Ampere (VA). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya berikut ini:



Gambar 2.22 Segitiga daya

<sup>[12]</sup> Zuhail, "Dasar Teknik Listrik", (Bandung: ITB,1991), Hlm. 132