

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Solar Cell**

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 sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya listrik". Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi.

Pada umumnya, *solar cell* merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut 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. Pada sel surya terdapat sambungan (*function*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (Negatif). 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 . Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif. ([digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-13287-Chapter1I.pdf](http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-13287-Chapter1I.pdf))

#### **2.2 Semikonduktor dan Sel Surya**

Sebuah semikonduktor adalah sebuah elemen dengan kemampuan listrik di antara sebuah konduktor dan isolator. (Albert Paul Malvino, 2003: 35). Sel surya adalah suatu perangkat yang memiliki kemampuan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip *photovoltaic*, adanya energi dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi

sebagian elektron pada suatu material ke pita energi yang ditemukan oleh Alexandre Edmond Bacquerel (Belgia) pada 1894. Efek ini dapat timbul terutama pada semikonduktor listrik yang memiliki konduktivitas menengah dikarenakan sifat elektron di dalam material yang terpisah dalam pita-pita energi tertentu yang disebut pita konduksi dan pita valensi.

Kedua pita energi tersebut berturut-turut dari yang berenergi lebih rendah adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa elektron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda-beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 eV ( $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ ).



**Gambar 2.1 Solar Cell**

(sumber: <http://imall.iteadstudio.com>, diakses tanggal 21 mei 2014 )

Berdasarkan teori Maxwell tentang radiasi electromagnet, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek *photovoltaic* mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi. Dualitas cahaya sebagai partikel dan gelombang dirumuskan dengan persamaan :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$h.c = (6,6256 \times 10^{-34} \text{ Js}) (2,9979 \times 10^8 \text{ m/s})$$

$$= 1,9863 \times 10^{-26} \text{ Jm}$$

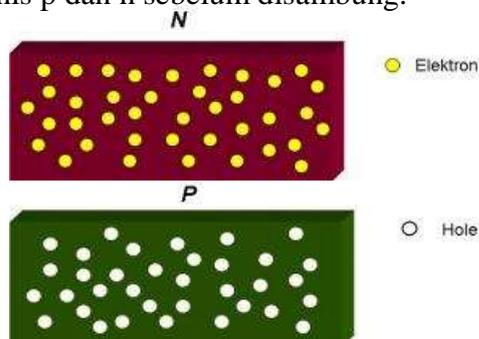
(Marcelo Alonso, 1992: 309)

### 2.3 Proses Konversi Solar Cell

Proses perubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p = positif) karena kelebihan muatan positif.

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

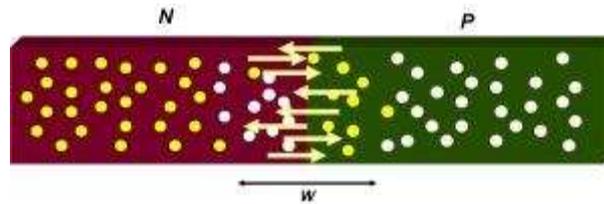
- a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



**Gambar 2.2 Semikonduktor jenis p dan n Sebelum Disambung**

(Sumber: <http://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/>, diakses tanggal 5 juni 2014)

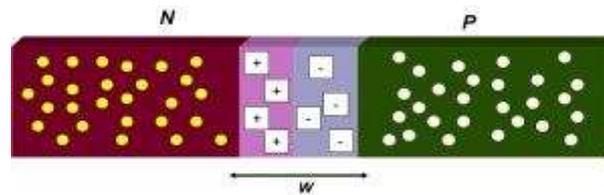
- b. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.



**Gambar 2.3 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor**

(Sumber: <http://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/>, diakses tanggal 5 juni 2014)

- 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.

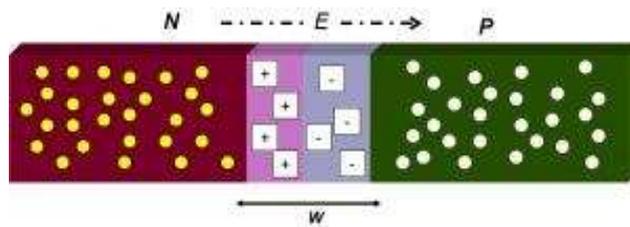


**Gambar 2.4 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor**

(Sumber: <http://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/>, diakses tanggal 5 juni 2014)

- 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 berbeda.

- f. 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.

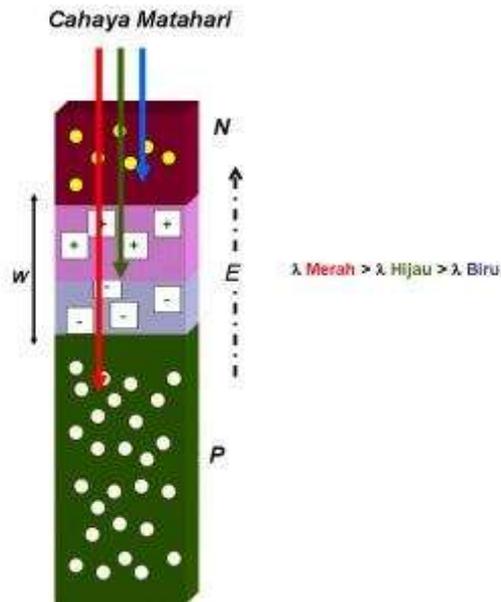


**Gambar 2.5 Timbulnya Medan Listrik Internal E**

(Sumber: <http://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/>, diakses tanggal 5 juni 2014)

- g. 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 kearah 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  $E$ .

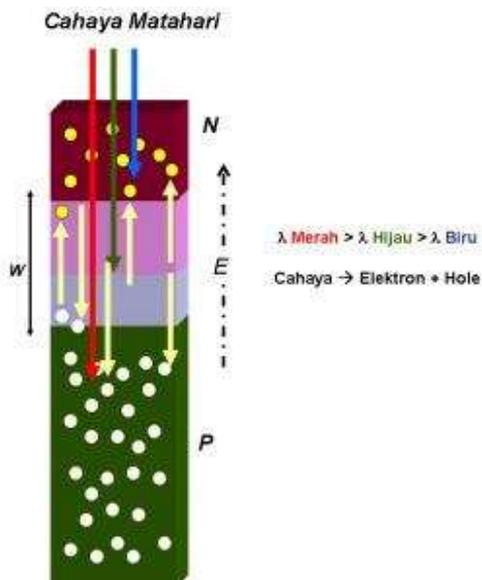
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap kearah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke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



**Gambar 2.6 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari**

(Sumber: <http://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/>, diakses tanggal 5 juni 2014)

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 electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.



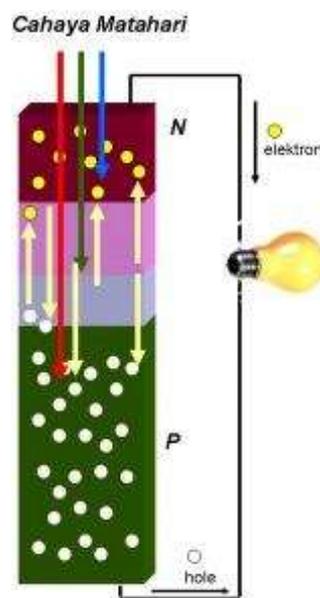
**Gambar 2.7 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari**

(Sumber: <http://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/>, diakses tanggal 5 juni 2014)

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lamda” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

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

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



**Gambar 2.8 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihungkan Ke Lampu**

(Sumber: <http://energisurya.wordpress.com/2008/07/10/melihat-prinsip-kerja-sel-surya-lebih-dekat/> diakses tanggal 5 juni 2014)

Pada alat ini *solar cell* digunakan sebagai sumber energi pengganti listrik untuk mengisi ulang baterai sekunder (*charger*) yang digunakan untuk menghidupkan portal parkir otomatis. Dan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari *solar cell* pada saat pengisian baterai langsung digunakan rumus :

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

Keterangan : P = daya (dalam watt ,W)

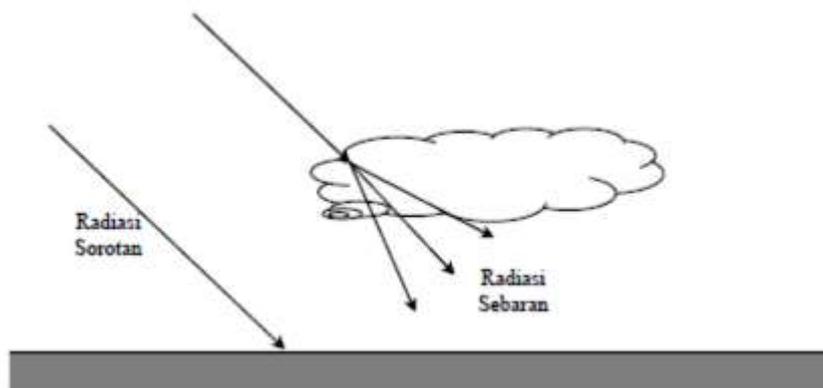
V = ggl (dalam volt, V)

I = arus (dalam Ampere, A)

(Robert L. Shrader, 1991: 27)

#### 2.4 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

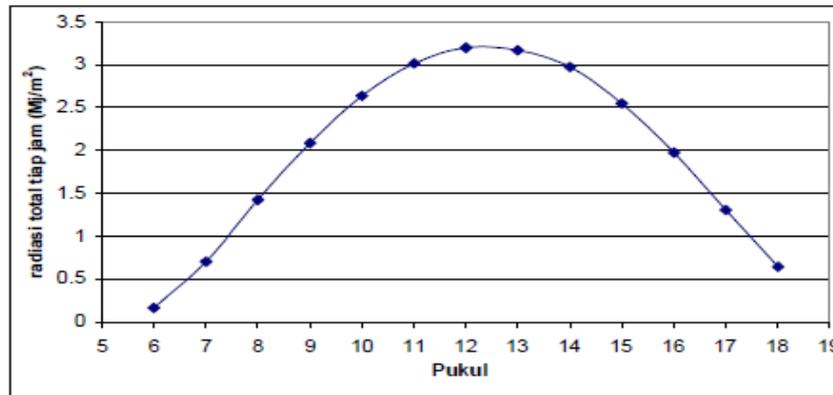
Konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m<sup>2</sup> dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran.



**Gambar 2.9 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi**

(Sumber : Yuwono,Budi. 2005 Skripsi Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C5. Surakarta: halaman 11)

Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik gambar 2.10. 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.

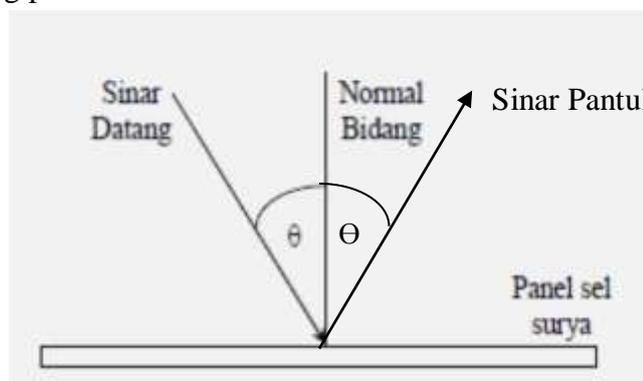


**Gambar 2.10 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi**

(Sumber : Yuwono,Budi. 2005 Skripsi Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51. Surakarta: halaman 12)

## 2.5 Pengaruh Sudut Datang terhadap Radiasi yang diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



**Gambar 2.11 Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel sel surya**

(Sumber : Yuwono,Budi. 2005 Skripsi Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51. Surakarta: halaman 13)

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut  $\theta$  seperti gambar 2.7 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor  $\cos \theta$ .

$$I_r = I_{r0} \cos \theta \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :  $I_r$  = Radiasi yang diserap panel

$I_{r0}$  = Radiasi yang mengenai panel

$\theta$  = Sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel

## 2.6 Jenis Panel Surya

Ada beberapa jenis panel surya yang dijual dipasaran :

1. Jenis pertama, yaitu jenis yang terbaik dan yang terbanyak digunakan masyarakat saat ini, adalah jenis monokristalin. Panel ini memiliki tingkat efisiensi antara 12 sampai 14%.



**Gambar 2.12 Panel Surya Monokristalin**  
(sumber: <http://imall.iteadstudio.com>, diakses tanggal 21 mei 2014 )

2. Jenis kedua adalah jenis polikristalin atau multi kristalin, yang terbuat dari kristal silikon dengan tingkat efisiensi antara 10 sampai 12%.



**Gambar 2.13 Panel Surya Polikristalin**

(sumber: <http://imall.iteadstudio.com>, diakses tanggal 21 mei 2014 )

3. Jenis ketiga adalah silikon jenis amorphous, yang berbentuk film tipis. Efisiensinya sekitar 4-6%. Panel surya jenis ini banyak dipakai di mainan anak-anak, jam dan kalkulator.



**Gambar 2.14**

**Panel Surya Silikon Amorphous**

(sumber: <http://www.tradeindia.com/fp882650/144W-Thin-Film-Amorphous-Silicon-Flexible-Solar-Panels.html>, diakses tanggal 21 mei 2014)

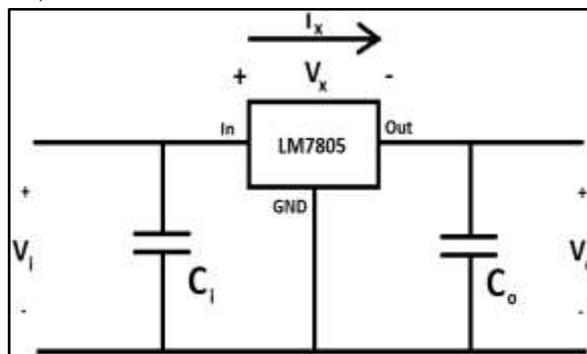
4. Jenis keempat adalah panel surya yang terbuat dari GaAs (Gallium Arsenide) yang lebih efisien pada temperatur tinggi.



**Gambar 2.15 Panel Surya Gallium Arsenide**  
(sumber: [www.design-impact.org](http://www.design-impact.org), diakses tanggal 21 mei 2014)

## 2.7 Rangkaian Regulator LM7805

Power Supply DC berfungsi sebagai sumber tegangan searah berbagai peralatan elektronik yang berperan penting untuk menjalankan suatu sistem elektronik. Tidak ada satu pun perangkat elektronik yang dapat bekerja tanpa power supply. Tegangan output yang dihasilkan oleh sebuah power supply disesuaikan dengan kebutuhan perangkat elektronik misalnya 5 Volt DC, 10 Volt DC, 12 Volt DC, 48 Volt DC bahkan di antaranya ada yang memerlukan supply tegangan DC sampai ratusan Volt. Untuk menghasilkan tegangan DC diperlukan sistem regulator DC yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan output stabil setelah tegangan sumber AC dari PLN diturunkan dan dikonversi menjadi tegangan DC (searah).



**Gambar 2.16 Rangkaian Regulator LM7805**

(sumber: <http://www.electro-tech-online.com/threads/using-7805-efficiently.120481/>, diakses tanggal 18 juli 2014)

Selain itu, IC 78xx mempunyai tiga terminal dan sering ditemui dengan kemasan TO220, walaupun begitu, kemasan pasang-permukaan D2PAK dan kemasan logam TO3 juga tersedia. Peranti ini biasanya mendukung tegangan masukan dari 3 volt di atas tegangan keluaran hingga kira-kira 36 volt, dan biasanya mampu memberi arus listrik hingga 1.5 Ampere (kemasan yang lebih kecil atau lebih besar mungkin memberikan arus yang lebih kecil atau lebih besar).

## 2.8 Baterai

Baterai pembangkit listrik tenaga matahari pada umumnya hanya aktif pada saat siang hari (pada saat sinar matahari ada). Sehingga untuk keperluan malam hari solar cell tidak dapat digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka energi yang dihasilkan *solar cell* pada siang hari disimpan sebagai energi cadangan pada saat matahari tidak tampak. Untuk menyimpan energi tersebut dipakai suatu baterai sebagai penyimpanan muatan energi. Baterai digunakan untuk sistem pembangkit tenaga listrik matahari mempunyai fungsi yang ganda.

Di suatu sisi baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi, sedang disisi lain baterai harus dapat berfungsi sebagai satu daya dengan tegangan yang konstan untuk menyuplai beban. Menurut penggunaan baterai dapat diklasifikasikan menjadi:

### a. Baterai Primer

Baterai primer hanya digunakan dalam pemakaian sekali saja. Pada waktu baterai dipakai, material dari salah satu elektroda menjadi larut dalam elektrolit dan tidak dapat dikembalikan dalam keadaan semula.

### b. Baterai Sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan kembali dan kembali dimuati.

Pada waktu pengisian baterai elektroda dan elektrolit mengalami perubahan kimia, setelah baterai dipakai, elektroda dan elektrolit dapat dimuati kembali, kondisi semula setelah kekuatannya melemah yaitu dengan melewati arus dengan arah yang berlawanan dengan pada saat baterai digunakan. Pada saat

dimuati energi listrik diubah dalam energi kimia. Jadi, dapat kita ketahui bahwa fungsi baterai pada rancangan pembangkit tenaga surya ini adalah untuk menyimpan energi yang dihasilkan *solar cell* pada siang hari, tujuannya adalah untuk menyimpan energi listrik cadangan ketika cuaca mendung atau hujan serta pada malam hari. Dengan demikian dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan. Baterai yang digunakan adalah jenis asam timbal (baterai basah) yang dapat diisi ulang cairan kimia dan energi listrik.

### 2.8.1 Perhitungan Daya Tahan Baterai

Intensitas arus listrik didefinisikan sebagai muatan listrik yang lewat per satuan waktu melalui suatu penampang daerah dimana muatan mengalir, seperti penampang tabung pemacu atau kawat logam. Karena itu jika dalam waktu  $t$ ,  $N$  partikel bermuatan yang masing-masing membawa muatan  $q$ , lewat melalui suatu penampang medium penghantar, maka muatan total yang lewat adalah  $Q = Nq$ ; dan intensitas listriknya adalah :

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

I = Kuat arus listrik dalam satuan ampere

Q = muatan listrik dalam satuan coulomb (setara dengan ampere second/ampere detik)

t = Waktu dalam satuan detik

(Zuhal, 2004)

Dari persamaan di atas, persamaan muatan listrik dapat diperoleh diperoleh yaitu:

$$Q = I.t \dots\dots\dots (2.4)$$

Perhitungan daya tahan baterai dihitung dari persamaan :

$$t = \frac{Q}{I} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dari persamaan tegangan diperoleh :

$$V=I.R \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I= \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2.7)$$

## 2.9 Resistor

Resistor merupakan komponen yang paling sering digunakan dalam rangkaian-rangkaian elektronika. Resistor merupakan suatu komponen pengatur tegangan dan alat pendeteksi sinyal yang mengatur jalannya operasi rangkaian. Resistor dengan harga yang tepat, diperlukan agar supaya tegangan jatuh yangtepat bisa mengoperasikan transistor dan IC dengan sempurna.

Resistor biasanya dibuat dari campuran karbon atau laisan karbon. Dalam kedua kasus material resistif dasarnya adalah karbon dan bentuk umumnya berupa silinder kecil dengan ujung timah yang menjulur keluar dari ujung-ujungnya.

Dalam elektronika, resistor diproduksi juga untuk menghasilkan tegangan tertentu dan juga sebagai beban pada rangkaian elektronika dimana terdapat tegangan beban yang makin lama makin membesar. Resistor biasanya dilambangkan dengan huruf R dan besarnya resistansi dinyatakan dalam bentuk lambang bilangan atau cincin kode warna. Satuannya adalah Ohm atau sering ditulis dengan simbol  $\Omega$ .

### 2.9.1 Karakteristik Resistor

Dua karakteristik utama yang perlu diketahui dalam suatu resistor adalah harga resistansi dan rating dayanya. Resistor tersedia dengan harga resistansi yang cukup banyak, mulai dari beberapa ohm dibalakang koma sampai beberapa mega ohm didepan koma. Rating daya sangat penting sebab ia menunjukkan daya

maksimum yang bisa disipasikan tanpa menimbulkan panas berlebihan sehingga rusak terbakar. Disipasi artinya bahwa daya sebesar  $I^2 R$  akan dibuang padanya. Resistor yang terbuat dari lilitan kawat digunakan pada resistor yang disipasi dayanya 5 watt atau lebih. Untuk disipasi sebesar 2 watt atau kurang digunakan resistor karbon, hal ini lebih disukai sebab ukurannya bisa lebih kecil dan

biayanya pun lebih murah dibanding resistor yang terbuat dari lilitan kawat.

### 2.9.2 Kode Warna Resistor

Karena tahanan karbon sangat kecil secara fisik maka tahanan tersebut diberi kode warna untuk menunjukkan berapa besar ohm resistor yang bersangkutan. Metode dasar dari sistem ini adalah dengan jalan menggunakan warna-warna untuk menunjukkan nilai angka seperti yang dituliskan dalam gambar dan tabel dibawah ini :

**Tabel 2.1 Kode Warna Resistor**

Warna	Angka-angka berarti	Pengali	Toleransi
Hitam	0	1 x	-
Coklat	1	10 x	1 %
Merah	2	100 x	2 %
Orange	3	1.000 x	-
Kuning	4	10.000 x	-
Hijau	5	100.000 x	0,5 %
Biru	6	1.000.000 x	-
Ungu	7	-	-
Abu-abu	8	-	-
Putih	9	-	± 10 %
Perak	-	0,01 x	± 10 %
Emas	-	0,1 x	± 5 %
Polos	-	-	± 20 %

