

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Potensi Sumber Daya Energi di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya energi baik energi yang bersifat sumber tidak terbarukan maupun yang bersifat sumber terbarukan. Eksplorasi sumber daya energi lebih banyak difokuskan pada energi fosil yang bersifat tidak terbarukan sedangkan energi yang bersifat terbarukan relatif belum banyak dimanfaatkan.

Menipisnya sumber daya energi tidak terbarukan, maka dikembangkanlah penemuan energi yang bersumber energi terbarukan, seperti tenaga air, panas bumi, mikrohidro, biomassa, matahari, dan angin. Sumber – sumber energi terbarukan pada umumnya tersedia di berbagai lokasi, sehingga cukup baik untuk dimanfaatkan pada daerah – daerah yang masih sulit terjangkau oleh pasokan energi konvensional. Energi terbarukan menjadi solusi dari menurunnya sumber daya tidak terbarukan dikarenakan relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, dan tidak menghasilkan limbah.

**Tabel 2.1** Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

No.	Energi Terbarukan	Potensi		Kapasitas Pembangkit Yang Sudah Terpasang
		Nilai	Satuan	
1.	Tenaga Air	75.67	GW	420.000 MW
2.	Panas Bumi	27.00	GW	800.00 MW
3.	Micro Hydro	458.75	MW	84.00 MW
4.	Biomasa	49.81	GW	302.40 MW
5.	Matahari	4.80	KWh/m <sup>2</sup> /hari	8.00 MW
6.	Angin	9.29	GW	0.50 MW

(Sumber : <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Blueprint>

[PEN tgl 10 Nop 2007.pdf](#))



Pengembangan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan ini bukan berarti terbebas dari segala kendala. Kendala yang menghambat pengembangan energi terbarukan bagi produksi energi listrik, seperti biaya investasi pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah finansial pada penyediaan modal awal dan kontinuitas penyediaan energi listrik rendah, karena sumber daya energinya sangat bergantung pada kondisi alam yang perubahannya tidak menentu. Energi terbarukan dapat dimanfaatkan pada desa – desa di daerah yang tidak terjangkau jaringan dari PLN.

## **2.2 Pembangkit Listrik Terbaru dan Terbarukan**

Energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari alam dan dapat terus diproduksi tanpa harus menunggu waktu jutaan tahun layaknya energi berbasis fosil. Sumber alam yang dimaksud dapat berasal dari matahari, panas bumi (*geothermal*), angin, air (*hydropower*) dan berbagai bentuk dari biomassa. Sumber energi tersebut tidak dapat habis dan dapat terus. Selain dapat dipulihkan kembali, energi terbarukan diyakini lebih bersih (ramah lingkungan), aman, dan terjangkau masyarakat. Penggunaan energi terbarukan lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan di banding energi non-terbarukan.

Jenis sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang dimiliki Indonesia cukup banyak. Jika dikelola dan dimanfaatkan dengan baik diyakini dapat menggantikan energi fosil.

### **2.2.1 Panas bumi**

Energi panas bumi berasal dari peluruhan radioaktif di pusat Bumi, yang membuat Bumi panas dari dalam, serta dari panas matahari yang membuat panas permukaan bumi. Ada tiga cara pemanfaatan panas bumi:

1. Sebagai tenaga pembangkit listrik dan digunakan dalam bentuk listrik

2. Sebagai sumber panas yang dimanfaatkan secara langsung menggunakan pipa ke perut bumi
3. Sebagai pompa panas yang dipompa langsung dari perut bumi

Panas bumi adalah suatu bentuk energi panas atau energi termal yang dihasilkan dan disimpan di dalam bumi. Energi panas adalah energi yang menentukan temperatur suatu benda. Energi panas bumi berasal dari energi hasil pembentukan planet (20%) dan peluruhan radioaktif dari mineral (80%). Gradien panas bumi, yang didefinisikan dengan perbedaan temperatur antara inti bumi dan permukaannya, mengendalikan konduksi yang terus menerus terjadi dalam bentuk energi panas dari inti ke permukaan bumi.



**Gambar 2.1** Panas Bumi

(Sumber : <https://www.aktual.com/esdm-tahun-2021-indonesia-menjadi-penghasil-energi-panas-bumi-terbesar-di-dunia/>)

### 2.2.2 Air

Energi air digunakan karena memiliki massa dan mampu mengalir. Air memiliki massa jenis 800 kali dibandingkan udara. Bahkan gerakan air yang lambat mampu diubah ke dalam bentuk energi lain. Turbin air didesain untuk mendapatkan

energi dari berbagai jenis reservoir, yang diperhitungkan dari jumlah massa air, ketinggian, hingga kecepatan air. Energi air dimanfaatkan dalam bentuk:

1. Bendungan pembangkit listrik yang terbesar adalah *Three Gorges dam* di China.
2. Mikrohidro yang dibangun untuk membangkitkan listrik hingga 100 kilowatt. Umumnya dipakai di daerah terpencil yang memiliki banyak sumber air.
3. *Run-of-the-river* yang dibangun dengan memanfaatkan energi kinetik dari aliran air tanpa membutuhkan reservoir air yang besar.



**Gambar 2.2** Energi Air

(Sumber : <http://kuplukluntur.blogspot.com/2012/11/cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-air.html>)

### 2.2.3 Angin

Perbedaan temperatur di dua tempat yang berbeda menghasilkan tekanan udara yang berbeda, sehingga menghasilkan angin. Angin adalah gerakan materi (udara) dan telah diketahui sejak lama mampu menggerakkan turbin. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik. Energi yang tersedia dari angin adalah fungsi dari kecepatan angin; ketika kecepatan angin meningkat, maka energi keluarannya juga meningkat hingga ke batas maksimum energi yang mampu dihasilkan turbin tersebut. Wilayah dengan angin yang lebih kuat dan konstan seperti lepas pantai dan dataran tinggi, biasanya diutamakan untuk dibangun "ladang angin."



**Gambar 2.3** Energi Angin

(Sumber : <https://www.shutterstock.com/5080412-stock-footage-wind-turbines-for-aeolian-electricity.html>)

#### **2.2.4 Matahari**

Karena kebanyakan energi terbarukan berasal adalah "energi surya" istilah ini sedikit membingungkan. Namun yang dimaksud di sini adalah energi yang dikumpulkan secara langsung dari cahaya matahari.

Tenaga surya dapat digunakan untuk:

1. Menghasilkan listrik menggunakan sel surya
2. Menghasilkan listrik Menggunakan menara surya
3. Memanaskan gedung secara langsung
4. Memanaskan gedung melalui pompa panas

Tentu saja matahari tidak memberikan energi yang konstan untuk setiap titik di bumi, sehingga penggunaannya terbatas. Sel surya sering digunakan untuk mengisi daya baterai, di siang hari dan daya dari baterai tersebut digunakan di malam hari ketika cahaya matahari tidak tersedia.



**Gambar 2.4** Energi Matahari

(Sumber : <http://suryautamaputra.co.id/blog/2016/03/06/pemanfaatan-energi-matahari/>)

### 2.2.5 Biomassa

Tumbuhan biasanya menggunakan fotosintesis untuk menyimpan tenaga surya, udara, dan CO<sub>2</sub>. Bahan bakar bio (*biofuel*) adalah bahan bakar yang diperoleh dari biomassa - organisme atau produk dari metabolisme hewan, seperti kotoran dari sapi dan sebagainya. Ini juga merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Biasanya biomassa dibakar untuk melepaskan energi kimia yang tersimpan di dalamnya, pengecualian ketika *biofuel* digunakan untuk bahan bakar *fuel cell* (misal *direct methanol fuel cell* dan *direct ethanol fuel cell*). Biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar atau untuk memproduksi bahan bakar jenis lain seperti biodiesel, bioetanol, atau biogas tergantung sumbernya. Biomassa berbentuk biodiesel, bioetanol, dan biogas dapat dibakar dalam mesin pembakaran dalam atau pendidih secara langsung dengan kondisi tertentu.



**Gambar 2.5** Biomassa

(Sumber : [https://www.flickr.com/photos/fotos\\_dos\\_orneas/2149063022/](https://www.flickr.com/photos/fotos_dos_orneas/2149063022/))



## 2.3 Sumber Energi Surya<sup>[1]</sup>

### 2.3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energy surya merupakan energy yang potensial dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energy surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km<sup>2</sup> adalah sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari atau setara dengan 112.000 gWp yang didistribusikan.



**Gambar 2.6** Intensitas Radiasi Matahari di Indonesia

(Sumber : <https://janaloka.com/potensi-energi-matahari-di-indonesia/>)

Pembangkit listrik tenaga Matahari adalah moda baru pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Pembangkit listrik tenaga Matahari adalah moda baru pembangkit listrik dengan sumber energi terbarukan. Panas yang ditangkap kemudian digunakan untuk menghasilkan uap panas bertekanan, yang akan dipakai untuk menjalankan turbin sehingga energi listrik dapat dihasilkan. Prinsip panel surya adalah penggunaan sel surya atau sel photovoltaic yang terbuat dari silikon untuk menangkap sinar Matahari. Sel surya sudah banyak dipakai untuk kalkulator

---

<sup>[1]</sup> Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*.Universitas Hasanudin.hlm 17-19





tenaga surya. Panel surya sudah banyak dipasang di atap bangunan dan rumah di daerah perkotaan untuk mendapatkan listrik dengan gratis.

Energi surya memiliki keunggulan – keunggulan dibandingkan dengan energy fosil, diantaranya :

- a. Sumber energy yang mudah didapatkan
- b. Ramah lingkungan
- c. Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis
- d. Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah
- e. Listrik dari energy surya dapat disimpan dalam baterai.

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata – rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia berlangsung 4 – 5 jam per hari.

Efisiensi pemanfaatan PLTS dibutuhkan perencanaan yang baik dan akurat yaitu, sebagai berikut:

- a. Jumlah daya yang akan dibutuhkan dalam pemakaian sehari hari (watt/hour)
- b. Jumlah panel yang harus dipasang
- c. Berapa unit baterai yang diperlukan untuk kapasitas yang diinginkan dan penggunaan tanpa sinar matahari

Besarnya biaya dalam penentuan harga sebuah solar panel didasarkan atas perhitungan harga per Watt Peak (WP), ini berlaku di pasar internasional untuk penentuan harga sebuah solar panel.

### 2.3.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Komponen-komponen yang diperlukan untuk instalasi listrik tenaga surya, terdiri dari:

#### 1. Panel Surya/Solar Panel

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



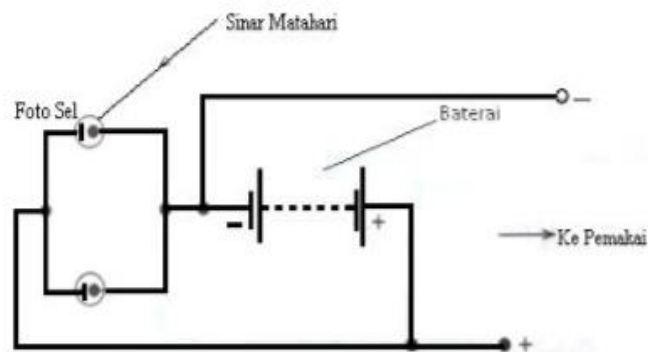
**Gambar 2.7** Panel Surya

(Sumber : <https://wholesaler.alibaba.com/w/wholesale-PV+Solar+Panel.html>)

Panel Surya biasanya memiliki umur 20-25 tahun yang biasanya dalam jangka waktu tersebut pemilik panel surya tidak akan mengalami penurunan efisiensi yang signifikan. Namun, meskipun dengan kemajuan teknologi yang semakin canggih, sebagian besar panel surya komersial saat ini hanya mencapai efisiensi 15% dan hal ini tentunya merupakan salah satu alasan utama mengapa industri energi surya masih tidak dapat bersaing dengan bahan bakar fosil. Karena peralatan rumah saat ini berjalan di *alternating current* (AC), panel surya harus memiliki *power inverter* yang mengubah arus *direct current* (DC) dari sel surya menjadi *alternating current* (AC).

Posisi ideal panel surya adalah menghadap langsung ke sinar matahari (untuk memastikan efisiensi maksimum). Panel surya modern memiliki perlindungan *overheating* yang baik dalam bentuk semen konduktif termal.

Pada prinsipnya, pembangkit listrik tenaga surya terdiri dari sekelompok foto sel yang mengubah sinar matahari menjadi gaya gerak listrik (ggl) untuk mengisi baterai aki. Dari baterai aki, energi listrik dialirkan ke pemakai. Pada waktu banyak sinar matahari (siang hari), baterai aki diisi oleh foto sel. Tetapi pada saat malam hari, foto sel tidak menghasilkan energi listrik, maka energi listrik diambil dari baterai aki tersebut<sup>[11]</sup>.



**Gambar 2.8** Foto Sel dan Baterai Aki sebagai Sumber Listrik<sup>[11]</sup>

a) Teori Muatan Listrik

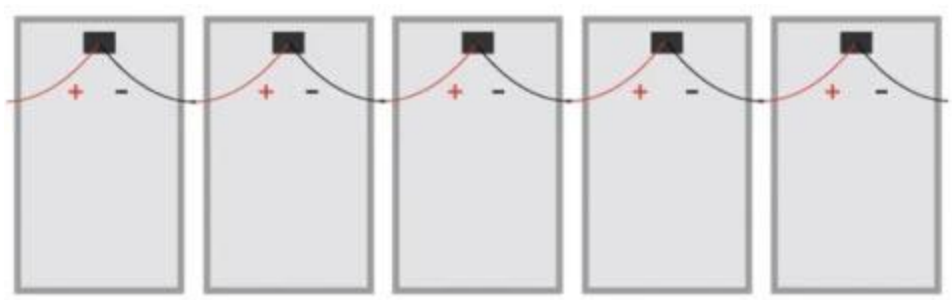
Muatan listrik pertama kali ditemukan oleh *Thales*, seorang ilmuwan Yunani sekitar lebih dari 2500 tahun yang lalu. Dia memperhatikan bulu ayam yang ditarik oleh batu amber yang telah digosok kain wol. Ia menciptakan kata *electricity* yang artinya listrik. Muatan listrik ada dua macam yaitu muatan listrik positif (+) atau proton, dan muatan listrik negatif (-) atau elektron. Satuan ukurannya adalah coulomb (C). Muatan listrik sejenis akan tolak menolak dan muatan listrik tidak sejenis akan tarik-menarik. Teori atom juga terkait dengan bahasan muatan listrik.

<sup>[11]</sup> Marsudi. Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga. Hal : 132

Sifat-sifat muatan listrik antara lain :

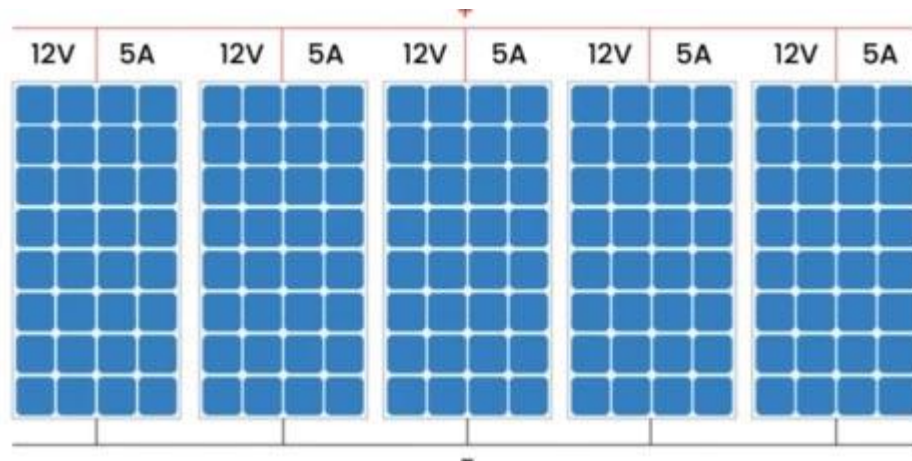
- Listrik terdiri dari dua jenis muatan yaitu muatan positif dan negatif, muatan listrik akan saling berinteraksi, muatan sejenis tolak menolak dan muatan tidak sejenis tarik-menarik.
- Untuk menerangkan pengertian adanya sifat kelistrikan pada suatu benda, perlu dipahami adanya konsep atom yang dimunculkan oleh para ahli di antaranya, teori atom Dalton, Thompson, Rutherford dan Bohr. Secara umum dapat dijelaskan bahwa:
  - o Benda terdiri atas atom-atom sejenis.
  - o Setiap atom terdiri atas sebuah inti yang dikelilingi oleh satu atau lebih elektron.
  - o Inti atom bermuatan positif, elektron bermuatan negatif.
  - o Inti atom terdiri atas proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan listrik.

b) Hubungan Sel Surya Secara Seri dan Pararel



**Gambar 2.9** Gambar rangkaian sel surya terhubung seri

Dalam rangkaian seri, Kita menjumlahkan tegangan setiap panel untuk mendapatkan tegangan keseluruhan dari array. Namun, arus listrik dari keseluruhan rangkaian tetap sama.

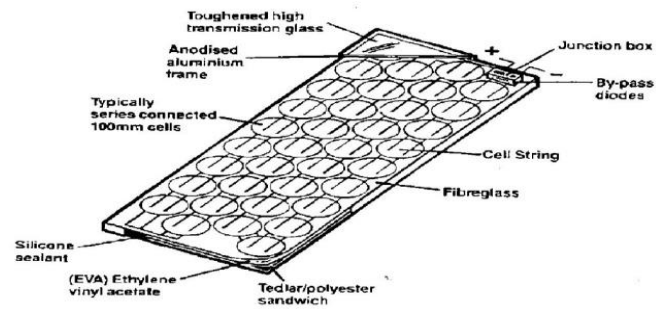


**Gambar 2.10** Gambar rangkaian sel surya terhubung paralel

Dengan panel-panel yang terhubung secara paralel, tegangan rangkaian keseluruhan tetap sama dengan tegangan untuk setiap panel tetapi arus listrik dari rangkaian keseluruhan adalah jumlah ampere setiap panel surya.

Namun demikian, output modul akan mengalami penurunan dengan berjalannya waktu. Degradasi ini diakibatkan oleh dua faktor utama, rusaknya lapisan atas sel (*ethylene vinyl acetate-EVA*) dan lapisan bawah (*polyvinyl fluoride film*) secara perlahan-lahan, serta kerusakan secara alami EVA yang terjadi secara bertahap di antara lapisan gelas dan sel-sel itu sendiri<sup>[12]</sup>.

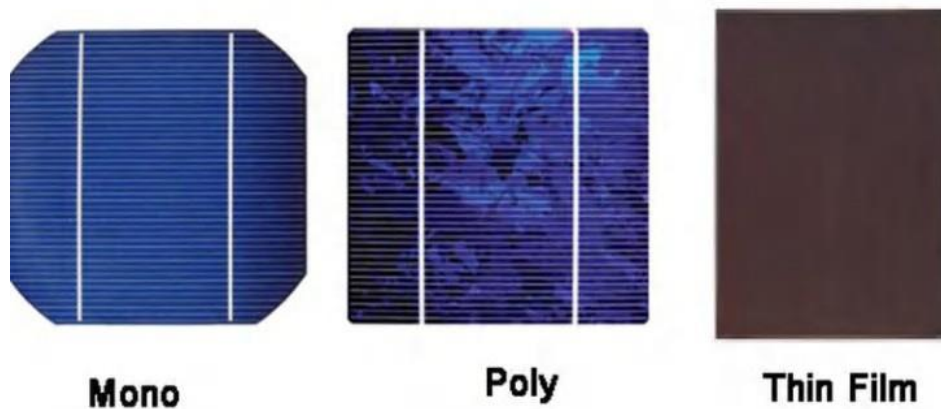
<sup>[12]</sup> Permana. Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung: PPPPTK BMTI. Hal :37



**Gambar 2.11** Konfigurasi Sebuah Modul Fotovoltaik

(Sumber : Permana, Iman. 2008. *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*. Bandung)

Sel Fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dibungkus untuk membentuk sebuah kesatuan mekanik. Kesatuan seperti ini dinamakan sebuah modul fotovoltaik. Satu sel surya menghasilkan tegangan sebesar 0,45 Volt. Tegangan ini sangat rendah untuk dapat dimanfaatkan secara praktis, sehingga diperlukan sejumlah sel surya yang dihubungkan secara seri.



**Gambar 2.12** Jenis – jenis Sel Photovoltaic

(Sumber: [www.scribd.com](http://www.scribd.com), Agutus, 2008)



c) Jenis-jenis Sel Surya

Bermacam-macam teknologi telah diteliti oleh para ahli di dunia untuk merancang dan membuat sel *photovoltaic* yang lebih baik, murah, dan efisien diantaranya adalah :

- Generasi Pertama Kristal (*Single Crystal*)

Konfigurasi normal untuk sel *photovoltaic* terdiri *p-n Junction* Mono Kristalsilikon material mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Efisiensi sel surya jenis *single kristal silikon* mempunyai efisiensi konversi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16% sampai dengan 17%.

- Generasi Kedua Kristal (*Polikristal*)

Material monokristal harga per kilogram masih mahal, untuk menurunkan harga material, dikembangkan material lain yang disebut *Polikristal*. Efisiensi modul *photovoltaic* polikristal yang komersial mencapai 12% sampai dengan 14%

- Generasi Ketiga, EFG the Edge Defined Film Growth Ribbon

Proses ini menumbuhkan *wafer monokristal* seperti pita langsung dari cair silikon dengan menggunakan pita kapiler, dapat menghasilkan dengan lebar 5-10cm. Pada proses ini penumbuhan terjadi 5 m/menit dengan ketebalan 250-350 mikrometer, dengan efisiensi 13%

- Generasi Keempat (*Thin Film*)

Generasi ke-empat lapisan tipis atau thin film, mempunyai ketebalan sekitar 10 mm di atas substrat kaca/*steel* (baja)

### 2.3.3 Sel Surya Photovoltaik<sup>[1]</sup>

Energy radiasi matahari diubah menjadi energy listrik dengan mempergunakan pembangkit listrik tenaga surya atau disebut juga teknologi

---

<sup>[1]</sup> Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*. Universitas Hasanudin.hlm 19-20





photovoltaic yang terbuat dari bahan semi konduktor lainnya, yang disebut solar cell. Teknologi selain teknologi dari sumber energy yang tidak terbatas (cahaya matahari) juga terkenal ramah lingkungan sehingga memiliki daya guna yang tinggi. Teknologi ini membutuhkan area instalasi yang luas untuk dapat menyerap sinar matahari. Daya listrik sebesar 100 mW akan membutuhkan luas tanah hingga 60 – 70 hektar.

Cahaya matahari dapat diubah menjadi energy listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor merupakan bahan semi logam yang memiliki partikel yang disebut electron – proton yang apabila digerakkan oleh energy dari luar akan membuat pelepasan electron sehingga menimbulkan arus listrik dan pasangan electron hole. Modul surya mampu menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energy foton ini.

Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energy kinetic yang mampu melepaskan electron – electron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetic akan makin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari tertinggi diserap bumi di siang hari sering menghasilkan tenaga surya yang diserap bumi ada sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja dari pada sel.

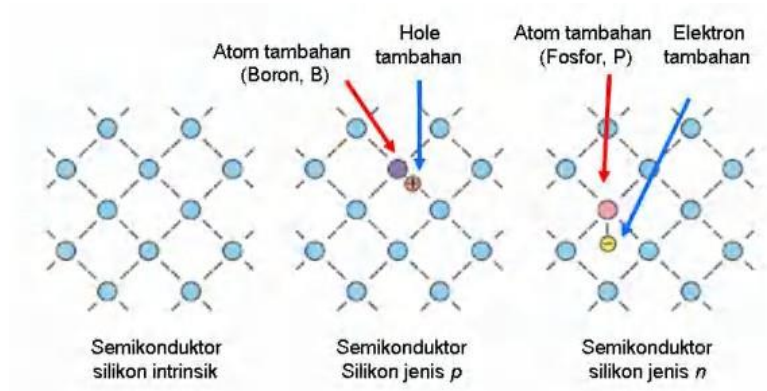
### **Prinsip Kerja Sel Surya Photovoltaik<sup>[1]</sup>**

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 electron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan electron (muatan 20hotovol) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam

---

<sup>[1]</sup> Virgiawan, Resita.2017.*Perancangan sistem hybrid pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga matahari untuk penerangan lampu jalan didusun taipa desa soreang kabupaten takalar*. Universitas Hasanudin.hlm 23-26

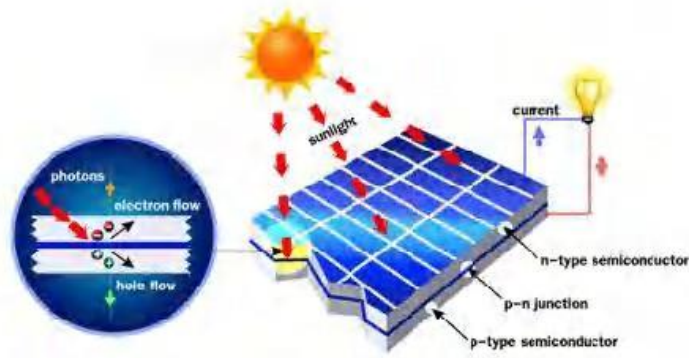
struktur atomnya. Kondisi kelebihan electron dan hole tersebut 21hot terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Mendapatkan material silicon tipe-p dengan cara, silicon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silicon tipe-n, silicon didoping oleh atom fosfor.



**Gambar 2.13** Pendopingan Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n

(Sumber: Sigh, Jasprit, Mc. Graw.Hill,Inc., Singapura, 1995)

Peran dari p-n *junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga electron dan hole 21hot diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Semikonduktor tipe-p dan tipe-n ketika terkontak, maka kelebihan electron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-p. Aliran electron dan hole ini mengakibatkan bentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n *junction* ini maka akan mendorong electron bergerak dari semikonduktor menuju kontak Photovol, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu electron Photov.



**Gambar 2.14** Prinsip Kerja Sel Surya Photovoltaic

(Sumber: [www.scribd.com](http://www.scribd.com), Agustus, 2008)

#### 2.3.4 Keuntungan dan Kerugian PLTS

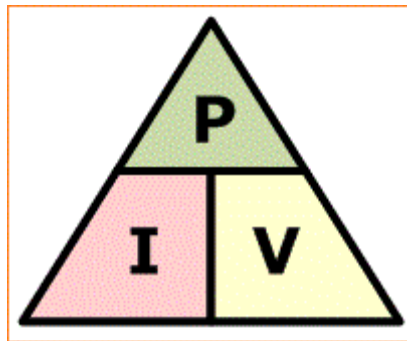
Kuntungan menggunakan PLTS di Indonesia adalah, sebagai berikut:

- Sumber energy tersedia sepanjang tahun dan gratis
- Bebas polusi udara
- Tidak bising
- Tidak memerlukan 22ltern transmisi yang rumit
- Tidak menyebabkan efek pemanasan global
- Dapat ditempatkan didaerah terpencil
- Umur pakainya anjang kurang lebih 20 tahun
- Perawatannya sangat mudah dan 22ltern tanpa biaya

Kerugian menggunakan PLTS di Indonesia adalah, sebagai berikut:

- Biaya/harga pengadaan (investasi) PLTS tinggi
- Biaya distribusi dan pelayanan tinggi
- Harapan konsumen melebihi kemampuan teknologi PLTS, karena cara pandang konsumen sangat dipengaruhi oleh sifat listrik konvensional (PLN)
- Pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang peranan PLTS dalam memberikan energy listrik Alternative ramah lingkungan terbatas.

### 2.3.5 Daya Output (Hukum Segitiga Daya)



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 persamaan 2.1, sedangkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan selama titik pengujian.

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

Keterangan :

P = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_n}{N} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

Daya rata-rata = Daya rata-rata (Watt)

P1 = Daya pada titik pengujian ke satu

P2 = Daya pada titik pengujian ke dua



---

P3	= Daya pada titik pengujian ke tiga
Pn	= Daya pada titik pengujian ke n
N	= Jumlah P1 s/d Pn

### 2.3.6 Intensitas Cahaya Matahari

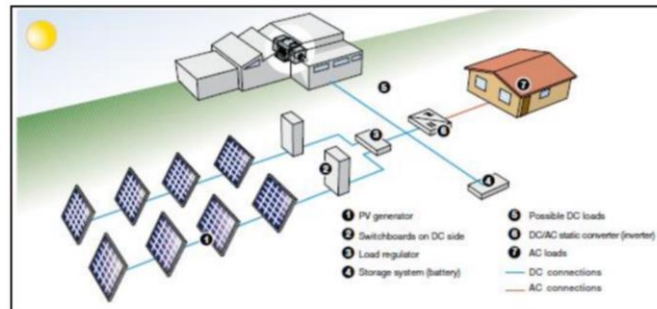
Intensitas cahaya matahari yaitu besar kecilnya sudut datang sinar Matahari pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan sudut besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi disebabkan karena energinya tersebar pada permukaan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

### 2.4. Prinsip Kerja PLTS (*Off-Grid*)

Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* dapat diuraikan sebagai berikut :

Pada PLTS sistem terpusat ini, sumber energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya (PV) pada siang hari akan disimpan dalam baterai. Proses pengisian energi listrik dari PV ke baterai diatur oleh *Solar Charge Controller* agar tidak terjadi *over charge*. Besar energi yang

- dihasilkan oleh PV sangat tergantung kepada intensitas penyinaran matahari yang diterima oleh PV dan efisiensi *cell*. Intensitas matahari maksimum mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$  , dengan efisiensi *cell* 14% maka daya yang dapat dihasilkan oleh PV adalah sebesar  $140 \text{ W/m}^2$  .
- Selanjutnya energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban melalui inverter saat dibutuhkan. Inverter mengubah tegangan DC pada sisi baterai menjadi tegangan AC pada sisi beban.



**Gambar 2.15** Prinsip Kerja PLTS (*Off-Grid*)

## 2.5 Solar Charger Controller

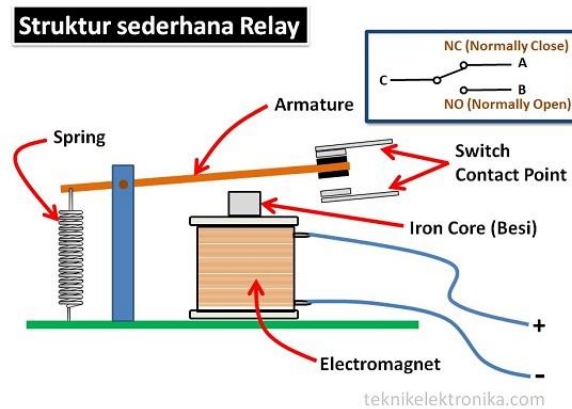


**Gambar 2.16** Solar Charger Controller

*Charger Controller* adalah sebuah modul yang terdapat di dalam sistem pembangkit tenaga Surya berfungsi sebagai pengatur arus listrik (*Current Regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel PV maupun arus beban keluar/ digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*Over Charge*), Ini mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. Sebagian besar Solar PV 12 Volt menghasilkan tegangan keluar (*V-Out*) sekitar 16 sampai 20 volt DC (*Direct Current*), jadi jika tidak ada peraturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan yang umumnya baterai 12 Volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt untuk dapat terisi penuh.

## 2.6 Relay

Relay adalah saklar (*switch*) yang digerakkan secara elektrik dan menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan saklar yang dapat mengontrol daya tinggi seperti 220 volt dengan kontak menggunakan 5 volt dengan menggerakkan *armature* relay.



Gambar 2.17 Relay

Kontak Poin (Contact Point) Relay terdiri dari 2 jenis yaitu :

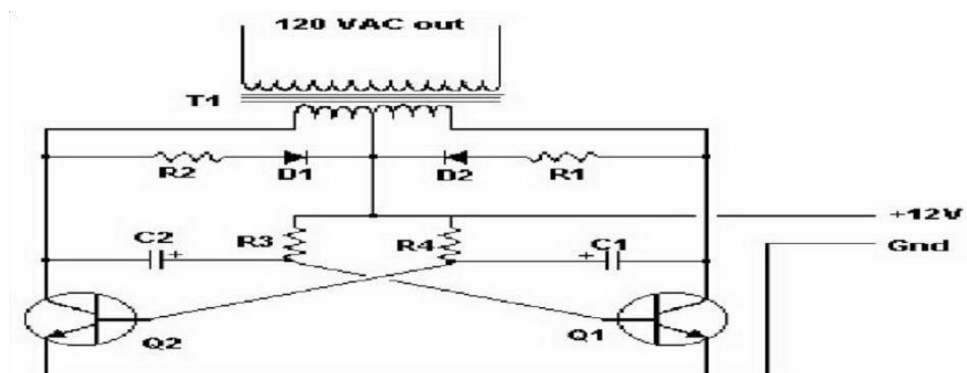
- Normally Close (NC) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi CLOSE (tertutup)
- Normally Open (NO) yaitu kondisi awal sebelum diaktifkan akan selalu berada di posisi OPEN (terbuka)

Berdasarkan gambar diatas, sebuah Besi (Iron Core) yang dililit oleh sebuah kumparan Coil yang berfungsi untuk mengendalikan Besi tersebut. Apabila Kumparan Coil diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya Elektromagnet yang kemudian menarik Armature untuk berpindah dari Posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi Saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana Armature tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi OPEN atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus listrik,



Armature akan kembali lagi ke posisi Awal (NC). Coil yang digunakan oleh Relay untuk menarik Contact Poin ke Posisi Close pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil.

## 2.7 Inverter



**Gambar 2.18** Inverter dan gambar rangkaian inverter sederhana

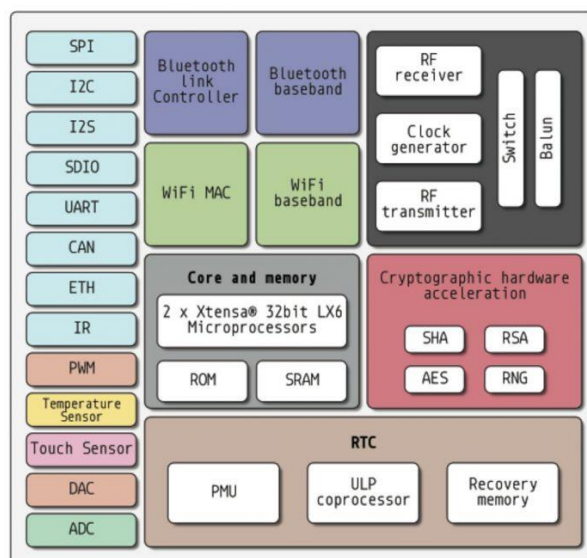
*Power Inverter* atau biasanya disebut dengan *Inverter* adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik DC (*direct Current*) menjadi arus AC (*alternative Current*) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Sumber-sumber arus listrik searah atau arus DC yang merupakan Input dari *Power Inverter* tersebut dapat berupa Baterai, Aki maupun Sel Surya (*Solar Cell*). Inverter ini akan sangat bermanfaat apabila digunakan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan pasokan arus listrik AC. Karena dengan adanya *Power Inverter*, kita dapat menggunakan Aki ataupun Sel Surya untuk menggerakkan peralatan-peralatan

rumah tangga seperti Televisi, Kipas Angin, Komputer atau bahkan Kulkas dan Mesin Cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110V.

## 2.8 NODEMCU ESP32-S

NODEMCU adalah sebuah platform IoT yang bersifat *opensource*. Terdiri dari perangkat keras berupa *system on chip* ESP32, juga *firmware* yang menggunakan bahasa pemrograman *scripting* Lua. Istilah NODEMCU secara *default* sebenarnya mengacu pada *firmware* yang digunakan daripada perangkat keras *development kit*.

NODEMCU ESP32 merupakan sebuah perangkat keras berupa mikrokontroler chip terintegrasi dengan input dan output sehingga dapat memberikan kontrol beban dengan sinyal analog maupun digital.

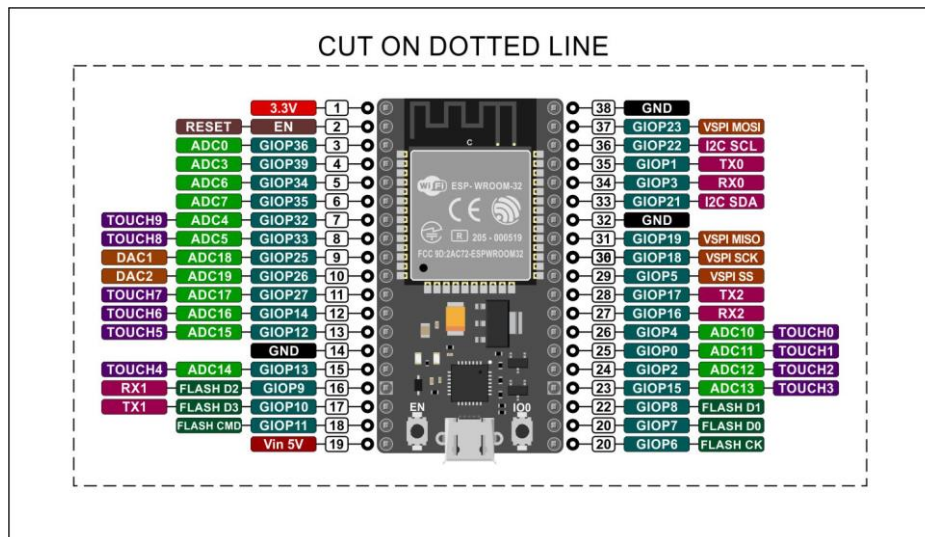


**Gambar 2.19 Block Diagram ESP-32**

(embeddednesia.com)

Terdapat 36 pin GPIO yang bisa difungsikan sebagai berikut, termasuk

- Analog to Digital Converter (ADC) : 16 kanal SAR ADC 12 bit. Rentang ADC bisa diatur di dalam program, apakah 0-1 V, 0-1.4 V, 0-2V atau 0-4V.
- Digital to Analog Converter (DAC) : terdapat DAC 8 bit yang bisa menghasilkan tegangan analog.
- Pulse Width Modulation (PWM) : 16 kanal PWM yang bisa digunakan untuk mengendalikan LED atau motor.
- Touch Sensor : 10 GPIO memiliki kemampuan pengindera kapasitif yang dapat digunakan sebagai 10 tombol buttonpad.
- UART : 2 kanal antarmuka UART. Satu diantaranya digunakan untuk mendownload program secara serial.
- I2C, SPI, I2S : Terdapat dua antarmuka I2C dan 4 antarmuka SPI untuk mengakses sensor dan perangkat ditambah lagi 2 antarmuka I2S.



**Gambar 2.20 Pin Out Module ESP-32S**

(forum.fritzing.org)

## 2.9 Automatic Transfer Switch (ATS)



**Gambar 2.21** *Automatic Transfer Switch*

Secara umum fungsi dari ATS adalah untuk menghubungkan beban dengan dua sumber tenaga (sumber utama & sumber cadangan) atau lebih yang terpisah yang bertujuan untuk menjaga ketersediaan dan keandalan aliran daya menuju beban. Secara sederhana fungsi ATS adalah untuk melakukan transfer daya secara otomatis ke beban, dari sebuah sumber utama (jaringan listrik) ke sumber cadangan ketika terjadi gangguan pada sumber utama. Secara luas ATS telah diaplikasikan di industri maupun perkantoran yang membutuhkan sistem kelistrikan dengan tingkat keandalan yang tinggi (Ginting & Sinuraya, 2014).

## 2.10 Sensor Arus (ACS712)

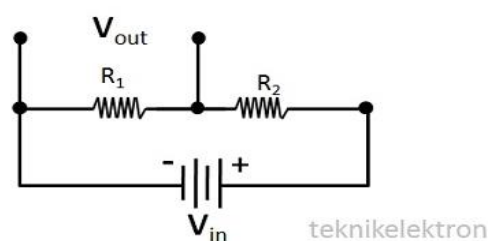
Sensor arus ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.



**Gambar 2.22** Sensor Arus ACS712

### 2.11 Sensor Tegangan

Sensor tegangan pada proyek kali ini menggunakan prinsip pembagi tegangan. Pembagi Tegangan adalah suatu rangkaian sederhana yang mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil. Fungsi dari Pembagi Tegangan di Rangkaian Elektronika adalah untuk membagi Tegangan Input menjadi satu atau beberapa Tegangan Output yang diperlukan oleh Komponen lainnya didalam Rangkaian. Hanya dengan menggunakan dua buah Resistor atau lebih dan Tegangan Input, mampu membuat sebuah rangkaian pembagi tegangan yang sederhana.



**Gambar 2.23** Rangkaian pembagi tegangan

## 2.12 Kabel

Kabel merupakan komponen penghantar yang terisolasi yang berfungsi untuk menghubungkan antara komponen satu dengan yang lainnya pada sebuah rangkaian kelistrikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

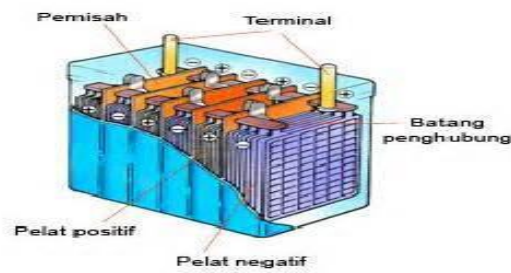


**Gambar 2.24** Kabel

## 2.13 Baterai

Baterai Aki atau sering disebut *accumulator*, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau sepeda motor. Aki dapat digunakan untuk menyimpan dan memberikan tenaga listrik. Pada proses pengisian, tenaga listrik diubah menjadi tenaga kimia, pada pembuangannya tenaga kimia yang tersimpan diubah menjadi tenaga listrik. Aki memiliki kapasitas sebuah sel aki diukur dalam jam-Ampere (Ah), yang dimaksud dengan kapasitas adalah jumlah Ah yang dapat diberikan oleh sebuah sel yang berisi muatan sampai tegangannya turun menjadi kira-kira 1,83 V (99,1 %). Sebuah aki dengan kapasitas 100 Ah dapat memberikan arus 25 A selama 4 jam.

Terdapat 2 jenis aki yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah merupakan jenis aki yang perlu diberi air aki yang dikenal dengan sebutan *accu zuur*. Sedangkan aki kering merupakan jenis aki yang tidak memakai cairan. Dalam aki terdapat elemen dan sel untuk penyimpanan arus yang mengandung asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timbal coklat ( $PbO_2$ ), sedangkan pelat negatif mengandung timbal. Pada **Gambar 2.23** merupakan sel-sel aki.



**Gambar 2.25 Sel Accu**

Sumber : [www.elektro.com](http://www.elektro.com)

Aki memiliki 2 kutub/terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar atau lebih tebal dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan kelalaian bila aki hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya.

## 2.14 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah sebuah perangkat lunak yang berfungsi dalam pengendalian dan perancangan program di dalam *development board*. secara harfiah berarti arduino IDE mempunyai bahasanya sendiri yang menyerupai bahasa C.

Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan library C/C++ yang biasa disebut *Wiring* yang membuat operasi input dan output menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari software *Processing* yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan Arduino.





**Gambar 2.26** tampilan dari Software Arduino IDE  
(*Sinauarduino.com*)

Program yang ditulis dengan menggunakan Arduino Software (IDE) disebut sebagai *sketch*. Sketch ditulis dalam suatu editor teks dan disimpan dalam file dengan ekstensi *.ino*. Teks editor pada Arduino Software memiliki banyak fitur seperti *cutting/paste* dan *seraching/replacing* sehingga memudahkan kamu dalam menulis kode program.