

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Energi**

Energi merupakan sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja (*energy is the capability for doing work*). Sedangkan energi alam adalah sesuatu yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan dan kebutuhan hidup manusia agar hidup lebih sejahtera, energi alam bisa terdapat dimana saja seperti di dalam tanah, air, permukaan tanah, udara dan lain sebagainya. Secara umum energi dapat dikategorikan menjadi beberapa macam, yaitu:

1. Energi mekanik

Bentuk transisi dari energi mekanik adalah kerja. Energi mekanik yang tersimpan adalah energi potensial atau energi kinetik. Energi mekanik digunakan untuk menggerakkan atau memindahkan suatu benda, misalnya untuk mengangkat batu pada pembangunan gedung, untuk memompa air, untuk memutar roda kendaraan dan lain sebagainya.

2. Energi listrik

Energi listrik adalah energi yang berkaitan dengan akumulasi arus elektron, dinyatakan dalam watt-jam atau kilo watt-jam. Bentuk transisinya adalah aliran elektron melalui konduktor jenis tertentu. Energi listrik dapat disimpan sebagai energi medan elektromagnetik yang merupakan energi yang berkaitan dengan medan listrik yang dihasilkan oleh terakumulasinya muatan elektron pada pelat-pelat kapasitor. Energi medan listrik ekuivalen dengan medan elektromagnetik yang sama dengan energi yang berkaitan dengan medan magnet yang timbul akibat aliran elektron melalui kumparan induksi.

### 3. Energi elektromagnetik

Energi elektromagnetik merupakan bentuk energi yang berkaitan dengan radiasi elektromagnetik. Energi radiasi dinyatakan dalam satuan energi yang sangat kecil, yakni elektron-Volt (eV) atau mega elektron-Volt (MeV) yang juga digunakan dalam evaluasi energi nuklir. Radiasi elektromagnetik merupakan bentuk energi murni dan tidak berkaitan dengan massa.

### 4. Energi kimia

Energi kimia merupakan energi yang keluar sebagai hasil interaksi elektron dimana dua atau lebih atom/molekul berkombinasi sehingga menghasilkan senyawa kimia yang stabil. Energi kimia hanya dapat terjadi dalam bentuk energi tersimpan.

### 5. Energi nuklir

Energi nuklir adalah energi dalam bentuk tersimpan yang dapat dilepas akibat interaksi partikel dengan atau di dalam inti atom. Energi ini dilepas sebagai hasil usaha partikel-partikel untuk memperoleh kondisi yang lebih stabil. Energi nuklir juga merupakan energi yang dihasilkan dari reaksi peluruhan bahan radioaktif. Bahan radioaktif sifatnya tidak stabil, sehingga bahan ini dapat meluruh menjadi molekul yang stabil dengan mengeluarkan sinar alpha, sinar beta, sinar gamma dan mengeluarkan energi yang cukup besar. Energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik ataupun untuk keperluan pengobatan dan lain-lain.

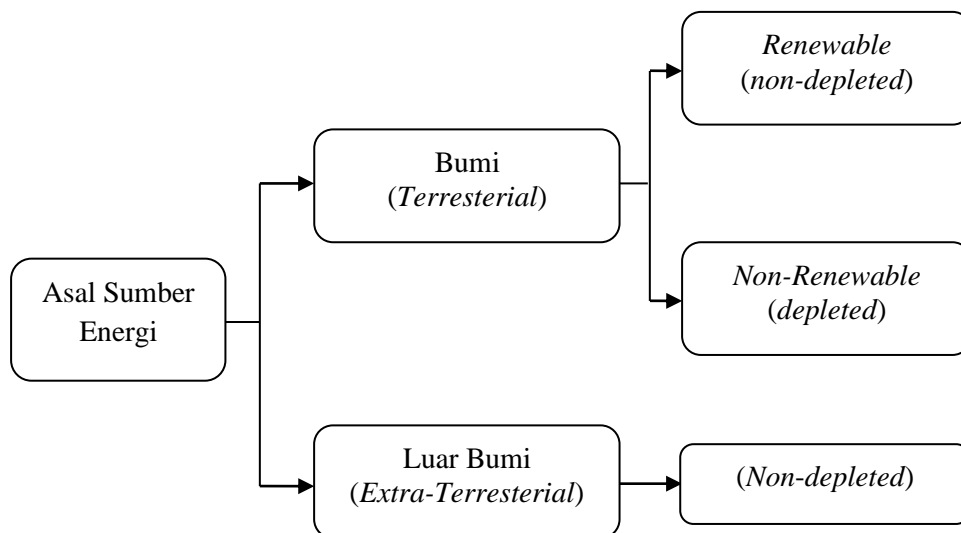
### 6. Energi termal (panas)

Energi termal merupakan bentuk energi dasar, yaitu semua energi yang dapat dikonversi secara penuh menjadi energi panas. Sebaliknya, pengonversian dari energi termal ke energi lain dibatasi oleh Hukum Termodinamika Kedua.

## 2.2 Sumber-Sumber Energi

Berdasarkan sumbernya, energi dapat dibedakan menjadi energi yang berasal dari bumi (*terrestrial*) dan yang berasal dari luar bumi (*extraterrestrial*). Sumber energi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan sifatnya.

Sumber energi dari bumi dikategorikan menjadi jenis *renewable* atau *non-depleted energy* dan *non-renewable* atau *depleted energy*. Sumber energi yang *renewable* atau dapat didaur ulang, seperti energi kayu, biomassa, biogas. Sumber energi dari luar bumi, misalnya energi surya dan *resources*. Sedangkan energi seperti minyak bumi, batubara dan gas alam adalah sumber energi yang bersifat tidak dapat diperbaharui atau dapat habis.



**Gambar 2.1** Klasifikasi Sumber Energi Berdasarkan Asal Energi

(Sumber: *Mesin Konversi Energi*, 2013)

### 2.2.1 Sumber Energi Tak Terbarukan

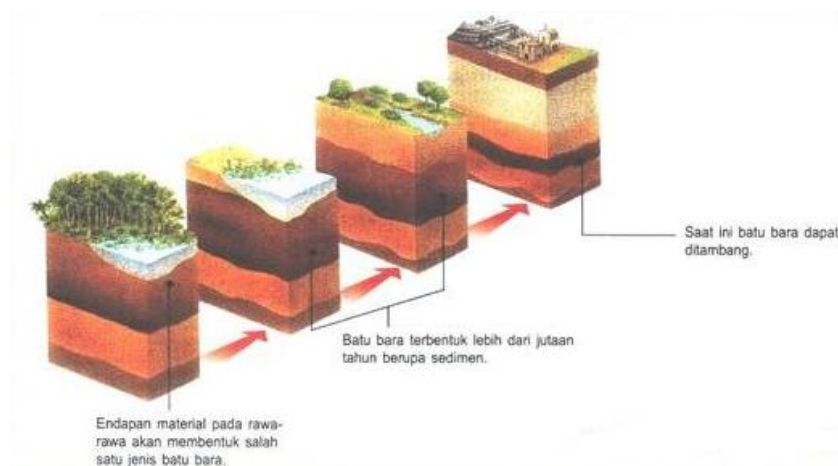
Sumber energi tidak terbarukan (*non-renewable*) didefinisikan sebagai sumber energi yang tidak dapat diisi atau dibuat kembali oleh alam dalam waktu yang singkat. Sumber energi yang tak dapat diperbaharui diantaranya adalah:

- Minyak Bumi

Minyak bumi adalah zat cair licin dan mudah terbakar yang terjadi sebagian besar karena hidrokarbon. Menurut teori, minyak bumi berasal dari sisa-sisa binatang kecil dan tumbuhan yang hidup di laut jutaan tahun yang lalu yang mengendap dan mendapat tekanan dari lempengan bumi sehingga secara alami larut dan berubah menjadi minyak bumi.

- Batubara

Batubara adalah batuan sedimen yang berasal dari material organik (*organoclastic sedimentary rock*), yang memiliki kandungan utama berupa karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara ini merupakan hasil akumulasi dan material organik pada suatu lingkungan pengendapan tertentu.



**Gambar 2.2** Proses Pembentukan Batubara

(Sumber: <https://ghozaliq.com/2015/07/16/persebaran-sumber-daya-alam>)

Batubara yang kita kenal dibentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang terkubur di dasar rawa selama jutaan tahun yang lalu. Pertama, sisa-sisa tumbuhan berubah menjadi bahan yang padat disebut gambut akibat tekanan dan pemanasan dari lapisan bagian atas, sisa-sisa tumbuhan tersebut berubah menjadi batubara.

- Nuklir

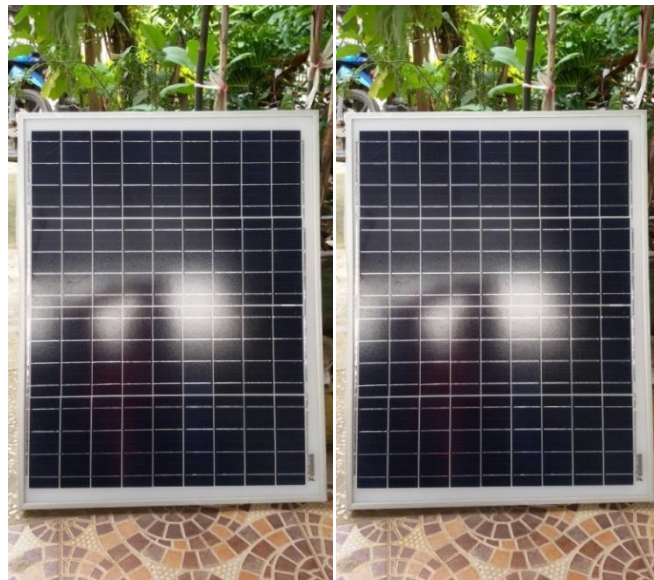
Sumber energi ini merupakan sumber energi hasil tambang yang lain, yang dapat dibudidayakan melalui proses fisi dan fusi. Energi nuklir, meskipun bersih, mengandung risiko bahaya radiasi yang mematikan sehingga pengolahannya harus ekstra hati-hati, di samping memerlukan modal yang besar untuk investasi awalnya.

### 2.2.2 Sumber Energi Terbarukan

Sumber energi terbarukan (*renewable*) didefinisikan sebagai sumber energi yang dapat dengan cepat diisi kembali oleh alam. Berikut ini adalah yang termasuk sumber energi terbarukan:

- Matahari

Energi matahari diperoleh dari cahaya panas yang merupakan komponen dari panas matahari. Selain memanaskan air, energi ini juga bisa diubah menjadi listrik.



**Gambar 2.3** Sel Surya Matahari

Secara global, matahari menyediakan 10.000 kali energi bumi yang dapat di manfaatkan siapapun secara gratis dan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang potensial untuk dikelola dan dikembangkan lebih lanjut, terutama bagi Negara-negara tropis seperti Indonesia.

- Angin

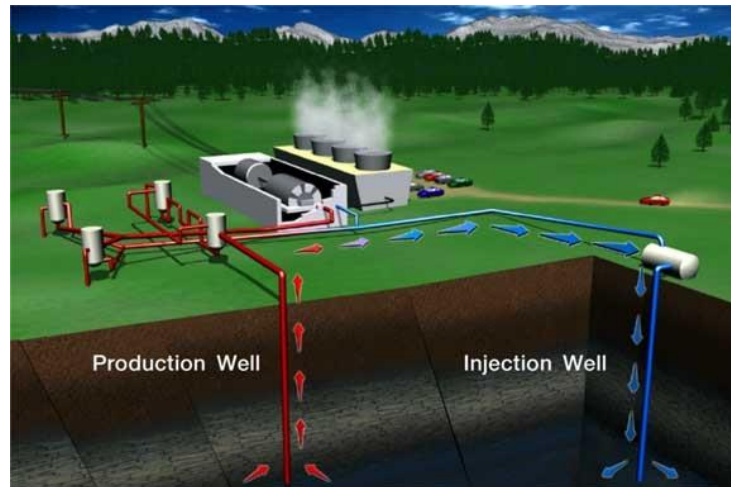
Energi angin adalah energi yang dihasilkan oleh udara yang berhembus di permukaan bumi. Energi angin dapat diubah menjadi mekanik untuk menghasilkan usaha. Karena angin tidak menimbulkan polusi, maka banyak negara-negara membangun turbin angin sebagai sumber tenaga listrik tambahan.



**Gambar 2.4** Turbin Angin  
(Sumber: <http://uniqpost.com>)

- Panas Bumi

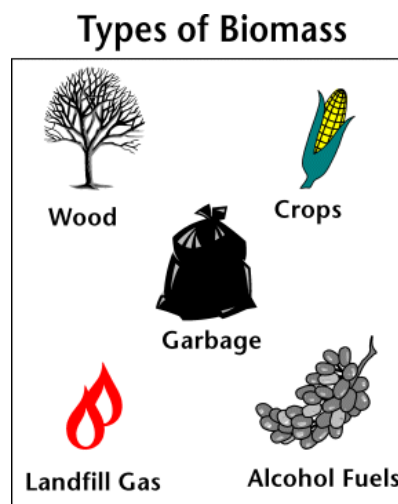
Energi panas bumi adalah energi panas yang berasal dari dalam bumi. Energi panas ini dihasilkan di dalam inti bumi yang ditimbulkan oleh peristiwa peluruhan partikel-partikel radioaktif di dalam batuan. Inti bumi terbentuk dari magma yang mengalir menembus berbagai lapisan batuan di bawah tanah. Saat mencapai reservoir air bawah tanah, terbentuklah air panas bertekanan tinggi yang keluar ke permukaan bumi melalui celah atau retakan di kulit bumi, maka timbul sumber air panas yang biasa disebut uap panas.



**Gambar 2.5** Uap Panas  
(Sumber: [www.kompasiana.com](http://www.kompasiana.com))

- Biomassa

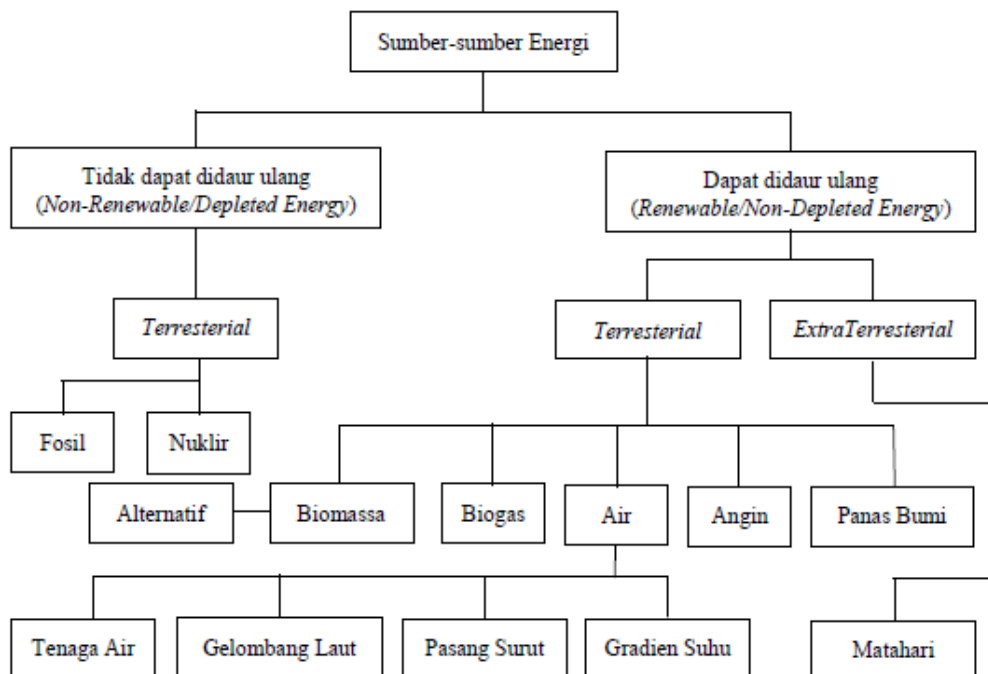
Biomassa merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui karena tumbuh-tumbuhan dapat kita tanam setiap saat. Dari berbagai macam bahan bakar biomassa, kayu merupakan kebutuhan yang sangat banyak digunakan, seperti pada rumah tangga dan ketel uap. Membakar biomassa bukan cara satu-satunya untuk menghasilkan energi karena biomassa dapat dikonversi ke bentuk energi lain diantaranya gas metana atau etanol dan biosolar.



**Gambar 2.6** Jenis-Jenis Biomassa  
(Sumber: <http://www.indoenergi.com>)

### 2.2.3 Sifat Sumber Energi

Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwa energi dapat berasal dari bumi (*terrestrial*) atau dari luar bumi (*extraterrestrial*). Energi yang berasal dari luar bumi harus bersifat tak dapat musnah (*non-depleted*). Energi yang berasal dari bumi dapat bersifat terbarukan atau tak dapat musnah (*renewable* atau *non-depleted*), artinya dapat diproduksi ulang atau dapat habis. Energi yang berasal dari bumi juga dapat bersifat tak terbarukan atau dapat musnah (*non-renewable* atau *depleted*), artinya tak dapat diproduksi ulang atau dapat habis (musnah).



**Gambar 2.7** Klasifikasi Sumber Energi Berdasarkan Sifat Energi  
(Sumber: *Mesin Konversi Energi*, 2013)

#### 2.2.3.1 Sumber Energi Yang Tidak Dapat Didaur Ulang

Sumber-sumber energi yang dapat habis dan tidak dapat didaur ulang (*Depleted/Non Renewable Energy Resources*) yang berasal dari bumi (*terrestrial*) adalah sumber energi konvensional yang pada umumnya merupakan energi tambang atau energi fosil yang berasal dari perut bumi, seperti minyak gas, batubara dan energi nuklir.



- Sumber energi fosil (*fossil fuel energy*)

Bahan bakar minyak, khususnya akan segera habis, paling lambat akhir abad XXI. Gas alam diprediksi para ahli akan habis lebih kurang 100 tahun lagi, sedangkan cadangan batubara akan habis lebih kurang 200 tahun lagi sampai dengan 300 tahun yang akan datang. Ketiga jenis bahan bakar fosil tersebut dikategorikan sebagai energi yang tidak ramah lingkungan karena kadar polusinya cukup tinggi. Kadar CO<sub>2</sub> di udara semakin meningkat tahun-tahun terakhir ini, menyebabkan suhu udara meningkat, mengakibatkan sebagian es di kutub mencair dan tinggi permukaan air laut terus meningkat yang lambat laun akan mengakibatkan banjir besar dikota-kota yang berada di tepi pantai di seluruh dunia. Sumber energi fosil, khususnya minyak, di samping jumlahnya terbatas, memerlukan waktu pembentukan sampai ratusan juta tahun. Untuk itu pemanfaatannya harus dialihkan ke sumber energi yang terbarukan.

- Sumber energi nuklir

Sumber energi ini merupakan sumber energi hasil tambang yang lain, yang dapat dibudidayakan melalui proses fisi dan fusi. Energi nuklir, meskipun bersih, mengandung risiko bahaya radiasi yang mematikan sehingga pengolahannya harus ekstra hati-hati, di samping memerlukan modal yang besar untuk investasi awalnya.

### **2.2.3.2 Sumber Energi Yang Dapat Didaur Ulang**

Dibedakan sumber energi yang dapat didaur ulang (*renewable*) seperti biomassa, biofuel, kayu bakar dan sumber energi yang tidak habis-habisnya sepanjang masa (*non-depleted energy resources*) seperti sumber energi panas bumi yang berasal dari perut bumi (*terrestrial*). Energi yang dari luar bumi (*ekstra-terrestrial*) adalah energi matahari yang dimanfaatkan secara langsung, yaitu: fotovoltaiik (*photovoltaik*) dan secara tidak langsung, yaitu energi radiasi dan termal (*radiation energy, thermal energy*). Sumber-sumber energi ini mempunyai sifat pembentukan yang lebih singkat, bahkan banyak yang sudah tersedia di alam dan tidak merusak lingkungan, diantaranya:

- **Biomassa**

Biomassa adalah proses daur ulang pada tumbuhan melalui fotosintesis dimana energi surya memegang peran penting. Daun menyerap energi surya untuk proses pertumbuhannya dan mengeluarkan gas CO<sub>2</sub>. Pada tumbuh-tumbuhan, energi surya diproses menjadi energi kimia sebagai energi dalam bentuk tersimpan. Tumbuh-tumbuhan tersebut akan mengeluarkan energi tersimpannya pada proses pengeringan maupun saat dibakar langsung dan pula melalui berbagai proses untuk menghasilkan bahan bakar yang cukup potensial seperti etanol, metana atau gas lain, bahan bakar dalam bentuk cair (minyak nabati). Nilai kalor bakar dari tumbuh-tumbuhan kering dapat mencapai 4800 kkal/kg.

- **Biofuel**

Biofuel adalah bahan bakar perantara yang terbentuk dari material organik umpan kimiawi (*chemical feedstock*) sebagai transformasi proses melalui radiasi surya secara fotosintesis untuk menghasilkan etanol cair, biodiesel (etanol cair dan biodiesel biasa disebut *biofuel*), biogas dan *charcoal solid* (arang akar padat).

- **Biogas**

Biogas merupakan sumber energi yang bersih dan murah, diproduksi dari kotoran binatang melalui binatang melalui proses anaerobik yang merupakan kegiatan microbial *organism*. Gas yang terjadi mengandung 70% metana.

- **Energi gradien suhu**

Energi gradien suhu adalah sumber energi yang berasal dari perbedaan suhu air laut di permukaan laut dan pada kedalaman tertentu, yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan sistem konversi energ. Gradien suhu air laut yang dikenal dengan OTEC (*Ocean Temperature Energy Conversion*, pesawat pengonversi energi termal samudra) dapat dilaksanakan baik dengan sistem terbuka maupun tertutup.

- **Energi angin** (*wind energy*)

Energi angin merupakan sumber energi yang juga dapat dikatakan berasal dari energi matahari melalui radiasi panas matahari di permukaan bumi yang berbeda-beda sehingga menimbulkan perbedaan temperature dan rapat massa udara di permukaan bumi yang mengakibatkan terjadinya perbedaan tekanan hingga kemudian menjadi aliran udara. Aliran udara tersebut dapat dipercepat dengan adanya perputaran bumi pada porosnya dengan kecepatan putar konstan.

- **Air**

Air adalah sumber energi yang dapat didaur ulang, dapat dibedakan menurut tenaga air (*hydropower*), energi gelombang laut, energi pasang surut dan energi gradient suhu.

- **Energi gelombang laut** (*wave energy*)

Energi gelombang laut (*wave energy*) merupakan sumber energi yang berasal dari gelombang laut yang dikonversi melalui sistem mekanisme torak yang bekerja maju mundur mengikuti irama gerak gelombang laut.

- **Energi pasang surut** (*tidal*)

Energi pasang surut (*tidal*) adalah sumber energi laut pada daerah-daerah tertentu di belahan dunia ini dimana pasang-surut air laut lebih dari 10 meter. Selisih ketinggian tersebut cukup potensial untuk menggerakkan turbin air berskala besar dengan tinggi jatuh rendah tetapi dapat menghasilkan tenaga listrik dengan daya besar dengan tinggi jatuh rendah tetapi dapat menghasilkan tenaga listrik dengan daya besar sampai ratusan megawatt.

- **Energi panas bumi** (*geothermal energy*)

Energi panas bumi (*geothermal energy*) merupakan sumber energi yang tidak habis-habisnya sepanjang zaman selama tata surya ini berfungsi normal sesuai peredarannya. Energi panas bumi merupakan energi

*terrestrial* yang berlimpah adanya dan dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi.

- **Energi surya** (*solar energy*)

Energi surya (*solar energy*) adalah sumber energi yang melimpah-ruah adanya, bersih, bebas polusi dan tidak akan habis sepanjang masa, merupakan *extra-terrestrial* energi yang dapat dimanfaatkan melalui konversi langsung, seperti pada fotovoltaik dan secara tidak langsung melalui pusat listrik tenaga termal surya.

Disamping itu energi surya juga dapat dimanfaatkan untuk:

1. Pemanas air untuk keperluan domestik, secara komersial maupun industri.
2. Pemanas udara untuk ruangan dan pengering biji tumbuh-tumbuhan.
3. Destilasi air laut untuk air minum.
4. Untuk pemompaan air.
5. Penggerak air *conditioning*, *refrigerator* ataupun *chiller*.

### 2.3 Energi Surya

Matahari memberikan sinar surya terus-menerus sepanjang masa. Sinar surya ini sampai ke bumi digunakan untuk sumber energi bagi semua makhluk hidup di bumi, tiada kehidupan apabila tiada energi ini. Matahari paling penting bagi kehidupan sehari-hari manusia sebagai sumber energi. Walau bagaimanapun oleh karena matahari begitu penting dan diperlukan oleh manusia, maka pada kebanyakan masa bintang ini dianggap sebagai sebuah bintang yang amat istimewa dan luar biasa.

Energi surya adalah energi yang dihasilkan oleh cahaya matahari yang dapat diubah menjadi energi panas atau energi listrik. Proses pengubahan energi ini bukan saja bebas dari pencemaran, bahkan dapat diperoleh secara gratis dan terus-menerus. Hal ini dapat dipahami, Karena jumlah energi surya pada planet bumi adalah sebesar 170 triliun kW. Dari jumlah I ini sebanyak 30% dipantulkan ke ruang angkasa, 47% diubah menjadi panas pada suhu rendah dan dipancarkan

lagi ke ruang angkasa dan 23% adalah untuk energi peresapan atau penguapan pada kisaran alam tumbuh-tumbuhan. Kurang dari 5% ditampilkan dalam bentuk energi kinetik dari angin dan gelombang dan juga pada penguapan fotosintesis dari tanaman.

Energi yang dihasilkan oleh matahari dan sampai ke bumi dalam bentuk cahaya. Kemudian cahaya ini diubah menjadi energi untuk banyak keperluan. Sinar surya dinyatakan sebagai sumber energi utama di bumi. Tanaman menggunakan energi dari matahari untuk proses fotosintesis. Air dan gas karbon dioksida diubah menjadi senyawa karbon oleh klorofil karena adanya sinar matahari.

Sistem pembangkit listrik tenaga surya mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik dengan energi lain seperti hidrolistrik, nuklir dan batubara. Pembangkit listrik energi surya dapat dibangun di kawasan-kawasan yang berdekatan dengan pengguna, tidak seperti pembangkit listrik energi hidrolistrik yang harus dibangun di sungai-sungai yang mempunyai aliran yang deras dan mencukupi. Pembangkit listrik energi surya juga tidak mempunyai efek pencemaran alam sekitar seperti halnya pembangkit energi nuklir dan batubara.

Energi surya dapat dijadikan sebagai sumber energi utama, karena Indonesia terletak di kawasan iklim khatulistiwa. Sinar surya rata-rata harian adalah 4000-5000 Wj/m<sup>2</sup>, sedangkan rata-rata jumlah jam sinaran antara 4 hingga 8 jam. Indonesia mengalami jumlah hari hujan sekitar 170 hari pertahun, rata-rata suhu udara antara 26 hingga 32°C dan kelembapan relatif rata-rata 80 hingga 90% dan tidak pernah turun di bawah 60%. Sinar surya mempunyai dua komponen yaitu: sinar surya langsung dan sinar tak langsung (terpedar).

Komponen sinar surya langsung adalah yang dihantar tanpa diserap dalam awan dan langsung menimpa bumi, sedangkan sinar surya tak langsung adalah setelah mengenai awan dan menimpa bumi. Jumlah kedua-duanya dikenal sebagai sinar surya global atau sinaran surya sejagat. Keadaan langit di kawasan tropika ini berawan, karena komponen sinar surya langsung kurang dari 40%. Perincian ini penting untuk pengkajian energi surya, terutama sistem surya termal, terutama dalam membuat dan pemilihan pengumpul surya.

### **2.3.1 Sel Surya (*Solar Cell*)**

Sel surya dapat berupa alat semikonduktor penghantar aliran listrik yang dapat secara langsung mengubah energi surya menjadi tenaga listrik secara efisien. Alat ini digunakan secara individual sebagai alat pendeteksi cahaya pada kamera maupun digabung seri atau parallel untuk memperoleh suatu harga tegangan listrik yang dikehendaki sebagai pusat penghasil tenaga listrik.

Hampir semua sel surya dibuat dari bahan silikon berkristal tunggal, bahan ini masih menduduki tempat paling atas dari urutan biaya pembuatan bila disbanding energi listrik yang diproduksi oleh alat pengonversi konvensional. Hal ini disebabkan oleh harga silikon murni yang masih sangat mahal. Meskipun berbahan dasar pasir silikat ( $\text{SiO}_2$ ), tetapi untuk membuatnya diperlukan biaya produksi yang tinggi.

Para ahli telah melakukan penelitian secara intensif untuk menekan ongkos produksi sel silikon agar dapat bersaing dengan pembangkit tenaga listrik konvensional. Dapat disebutkan bahwa untuk membuat pembangkit tenaga listrik dengan sel surya pada perhitungan tahun 1970 adalah \$15.000,00/kW-jam terpasang, sedangkan yang menggunakan bahan bakar batubara hanya \$500,00/kW-jam terpasang dan yang menggunakan tenaga nuklir adalah \$150,00/kW-jam terpasang. Menurut Matthew Buresch, untuk sepuluh tahun kemudian (tahun 1980) harga tiap kW-jam terpasang untuk pembangkit listrik tenaga surya telah turun menjadi \$7.000,00. Dengan kemajuan teknologi

pembuatan sel surya akhir-akhir ini diharapkan harganya dapat ditekan hingga \$500,00/kW-jam terpasang.

Sel Surya terus memiliki empat generasi dalam perkembangan bahan yang digunakan untuk membuat sel surya tersebut:

1. Generasi Pertama (Sel Surya berbasis Wafer)

Sel fotovoltaik generasi pertama terdiri dari area besar, lapisan Kristal tunggal, tunggal diode p-n *junction*, mampu menghasilkan energy listrik yang dapat digunakan dari sumber cahaya dengan panjang gelombang sinar matahari. Sel-sel ini biasanya dibuat dengan menggunakan proses difusi dengan wafer silikon. Sel surya wafer silikon ini berbasis teknologi dominan dalam produksi komersial sel surya, akuntansi lebih dari 85% dari pasar sel surya *terrestrial*.

2. Generasi Kedua (Sel Surya berbasis *Thin film*)

Sel-sel ini didasarkan pada penggunaan tipis epitaksi (epitaksi mengacu pada metode penyetoran film monocrystalline pada substrat *monocrystalline*) deposito semikonduktor pada wafer kisi-cocok (Pencocokan struktur kisi antara dua bahan semikonduktor yang berbeda, memungkinkan pembentukan daerah perubahan celah pita dalam materi tanpa memperkenalkan perubahan dalam struktur Kristal. Sebuah keuntungan dari teknologi film tipis yaitu berkurangnya massa yang memungkinkan panel pas pada bahan cahaya atau fleksibel, bahkan pada tekstil. Sel surya generasi kedua sekarang terdiri dari segmen kecil dari pasar fotovoltaik *terrestrial* dan sekitar 90% dari pasar ruang.

3. Generasi Ketiga (Sel Surya berbasis Sel fotovoltaik)

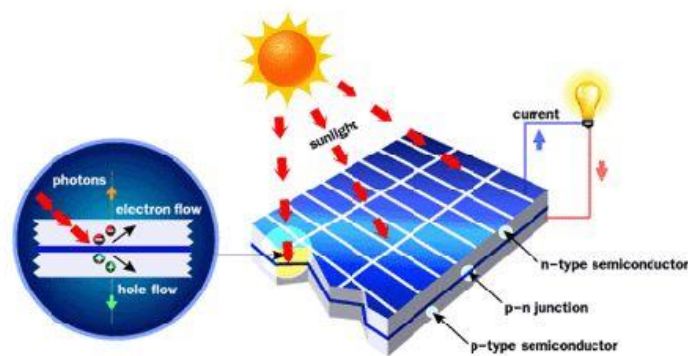
Generasi ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja listrik yang rendah dari sel-sel generasi kedua dan menjaga biaya rendah. Sel surya ini tidak bergantung pada p-n *junction* tradisional untuk memisahkan foto pembawa

muatan yang dihasilkan. Beberapa pendekatan yang digunakan dalam hal ini *Multijunction* sel, nano sel Kristal, pewarna-sel peka, sel polimer, memodifikasi spectrum kejadian (konsentrasi), dan lain sebagainya dengan potensi efisiensi produksi hingga 45%.

#### 4. Generasi Keempat (Sel Surya berbasis Sel fotovoltaik komposit)

Sel surya yang terdiri dari teknologi fotovoltaik komposit terbuat dari bahan polimer dengan nano-partikel yang dapat dicampur bersama-sama untuk membuat lapisan multi-spektrum tunggal. Multi-spektrum lapisan dapat ditumpuk untuk membuat sel-sel multi-spektrum matahari yang lebih efisien dan lebih murah.

##### 2.3.1.1 Cara Kerja Sel Surya (*Solar Cell*)



**Gambar 2.8** Cara Kerja Sel Surya  
(Sumber: <http://tech.dbagus.com>)

Sel surya konvensional bekerja dengan menggunakan prinsip *p-n junction* yaitu seperti *junction* antara semikonduktor tipe-p dan juga tipe-n. Semikonduktor ini berasal dari ikatan atom yang memiliki elektron sebagai penyusun dasarnya. Setiap semikonduktor memiliki kelebihan sendiri seperti semikonduktor tipe-n yang memiliki kelebihan elektron muatan negatif, sedangkan untuk semikonduktor tipe-p memiliki kelebihan *hole* muatan positif.



Kondisi kelebihan elektron dan *hole* ini bisa terjadi dengan cara mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh dalam mendapatkan material silikon tipe-p, silikon harus didoping dengan atom boron, sedangkan untuk material silikon tipe-n, silikon harus didoping oleh atom fosfor.

Hubungan p-n *junction* ini berperan untuk membentuk medan listrik, sehingga elektron dan juga *hole* dapat diekstrak oleh material kontak dalam menghasilkan sebuah energi listrik. Oleh karena itu ketika semikonduktor tipe-p dan juga tipe-n terkontak, kelebihan dari elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n menuju ke tipe-p. Dengan begitu terbentuklah kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan begitu pula sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p.

Akibat elektron dan *hole* akan terbentuk medan listrik, ketika cahaya matahari mengenai susunan dari p-n *junction* akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif. Selanjutnya dimanfaatkan sebagai energi listrik, dan begitu pula sebaliknya *hole* akan bergerak menuju kontak positif menunggu datangnya sebuah elektron.

Sel surya yang merupakan sebuah media yang dapat menghasilkan arus listrik yang berasal dari sinar matahari. Dengan memanfaatkan sel surya maka penggunaan sumber energi yang berasal dari jasad renik jutaan tahun yang lalu dapat berkurang. Hal ini tentu sangat bermanfaat untuk keadaan lingkungan, karena tanpa menghasilkan polusi dan aman.

### **2.3.1.2 Jenis-Jenis Solar Cell**

Berdasarkan teknologi pembuatannya, secara umum sel surya dibagi dalam tiga jenis, yaitu:

1. *Solar Cell Mono-crystalline*

*Solar Cell Mono-crystalline* ini merupakan jenis *solar cell* paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat

yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat panas. *Solar cell* monokristal memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan yang dimiliki oleh *solar cell* jenis ini yaitu *solar cell* tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

## 2. *Solar Cell Poly-Crystalline*

*Solar cell poly-crystalline* memiliki susunan Kristal yang acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. *solar cell* jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.

## 3. *Solar Cell Thin Film Photovoltaic*

*Solar cell* jenis ini terdiri dari dua lapisan dengan struktur lapisan tipis mikrokristal-silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5%, sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru adalah thin film *triple junction* PV (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari *solar cell* jenis lain dengan daya yang ditera setara.

## 2.4 **Arduino Uno**

Arduino Uno adalah papan pengembangan (*development board*) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328. Disebut sebagai papan pengembangan karena *board* ini memang berfungsi sebagai arena *prototyping* sirkuit mikrokontroller. Dengan menggunakan papan pengembangan, akan lebih mudah merangkai rangkaian elektronika mikrokontroller dibanding jika memulai merakit ATmega328 dari awal di *breadboard*.

Arduino Uno memiliki 14 digital pin *input / output* (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output PWM*), 6 pin *input* analog, menggunakan crystal 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP dan tombol *reset*. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau diberi *power* dengan adaptor AC-DC atau baterai, anda sudah dapat bermain-main dengan Arduino UNO anda tanpa khawatir akan melakukan sesuatu yang salah. Kemungkinan paling buruk hanyalah kerusakan pada chip ATmega328, yang bisa anda ganti sendiri dengan mudah dan dengan harga yang relatif murah.

Kata “Uno” berasal dari bahasa Italia yang berarti satu, dan dipilih untuk menandai peluncuran *Software* Arduino (IDE) versi 1.0. Arduino. Sejak awal peluncuran hingga sekarang, Uno telah berkembang menjadi versi Revisi 3 atau biasa ditulis REV 3 atau R3. *Software* Arduino IDE, yang bisa diinstall di *Windows* maupun Mac dan Linux, berfungsi sebagai *software* yang membantu anda memasukkan (*upload*) program ke chip ATmega328 dengan mudah.



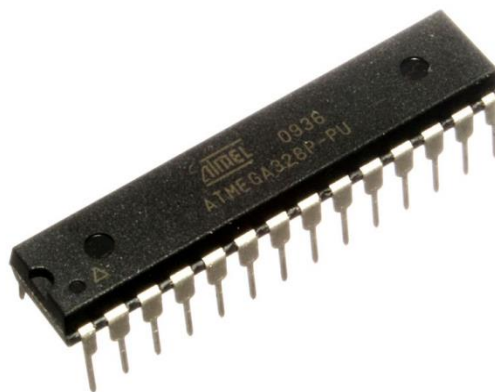
**Gambar 2.9** Arduino Uno

(Mada Sanjaya, 2014)

### 2.4.1 Arsitektur Arduino Uno

ATMega328 merupakan bagian mikrokontroler yang ada pada arduino keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) yang mana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*). Arduino Uno ini memiliki beberapa fitur antara lain:

1. Tegangan operasi sebesar 5 V.
2. Tegangan *input* sebesar 6 – 20 V tetapi yang direkomendasikan untuk ATMega 328 sebesar 7 – 12 V.
3. Pin digital I/O sebanyak 14 pin dimana 6 pin merupakan keluaran dari PWM (*Pulse Width Modulation*).
4. Pin *input* analog sebanyak 6 pin.
5. Arus DC pin I/O sebesar 20 mA sedangkan Arus DC untuk pin 3.3V sebesar 50 mA.
6. Flash memory 32 Kb yang mana 0.5 Kb digunakan oleh bootloader.
7. Memiliki SRAM (*Static Random Access Memory*) sebesar 2 Kb.
8. Memiliki EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanen karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
9. *Clock speed* 16 Mhz.

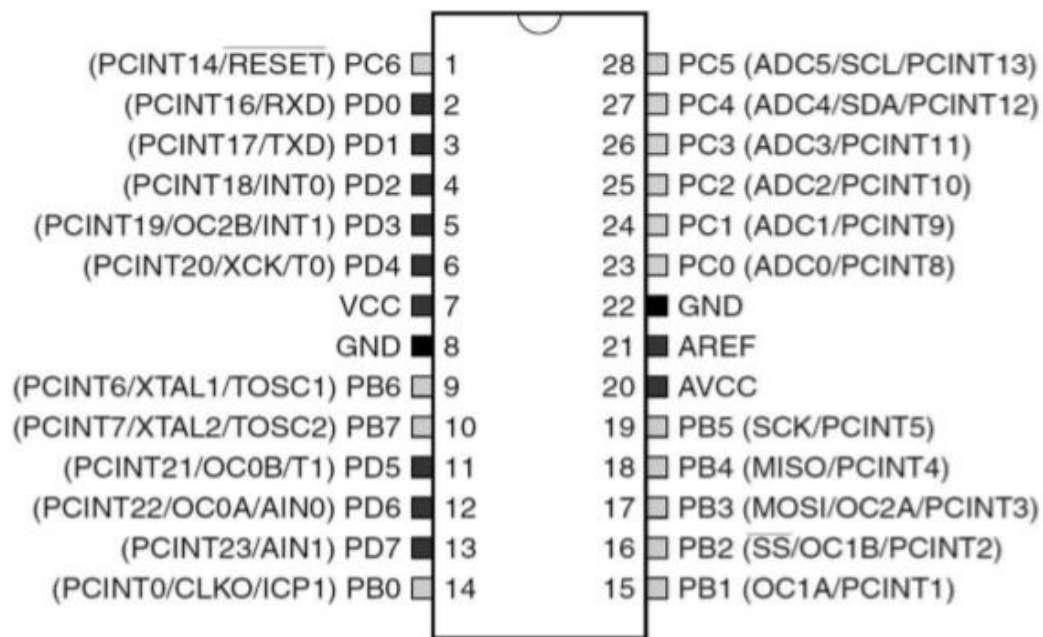


**Gambar 2.10** Atmega 328 pada Arduino

(Mada Sanjaya, 2014)

### 2.4.2 Konfigurasi Arduino Uno

ATmega328 merupakan mikrokontroler keluarga AVR 8 bit. Beberapa tipe mikrokontroler yang sama dengan ATmega8 ini antara lain ATmega8535, ATmega16, ATmega32, ATmega328, yang membedakan antara mikrokontroler antara lain adalah, ukuran memori, banyaknya GPIO (pin *input/output*), peripheral (USART, *timer*, *counter*, dll). Dari segi ukuran fisik, ATmega328 memiliki ukuran fisik lebih kecil dibandingkan dengan beberapa mikrokontroler diatas. Namun untuk segi memori dan periperial lainnya ATmega328 tidak kalah dengan yang lainnya karena ukuran memori dan periperialnya relatif sama dengan ATmega8535, ATmega32, hanya saja jumlah GPIO lebih sedikit dibandingkan mikrokontroler diatas.



**Gambar 2.11** Konfigurasi Pin ATmega328

(Eko Oktariansyah, 2016)

ATmega328 memiliki 3 buah PORT utama yaitu PORTB, PORTC, dan PORTD dengan total pin *input/output* sebanyak 23 pin. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai *input/output* digital atau difungsikan sebagai periperial lainnya.

1. VCC Merupakan *supply* tegangan digital.

2. GND Merupakan *ground* untuk semua komponen yang membutuhkan *grounding*.

### 3. Port B

Port B merupakan jalur data 8 *bit* yang dapat difungsikan sebagai *input/output*. Didalam Port B terdapat XTAL1, XTAL2, TOSC1, TOSC2. Jumlah Port B adalah 8 buah pin, mulai dari pin B.0 sampai dengan B.7. Tiap pin dapat digunakan sebagai input maupun *output*. Port B merupakan sebuah 8-bit bi-directional I/O dengan internal *pull-up* resistor. Sebagai *input*, pin-pinyang terdapat pada port B yang secara eksternal diturunkan, maka akan mengeluarkan arus jika *pull-up* resistor diaktifkan. Khusus PB6 dapat digunakan sebagai *input* Kristal (*inverting oscillator amplifier*) dan *input* ke rangkaian *clock* internal, bergantung pada pengaturan *Fuse bit* yang digunakan untuk memilih sumber *clock*. Sedangkan untuk PB7 dapat digunakan sebagai *output* Kristal (*output oscillator amplifier*) bergantung pada pengaturan *Fuse bit* yang digunakan untuk memilih sumber *clock*. Jika sumber *clock* yang dipilih dari oscillator internal, PB7 dan PB6 dapat digunakan sebagai I/O atau jika menggunakan Asynchronous *Timer/Counter2* maka PB6 dan PB7 (TOSC2 dan TOSC1) digunakan untuk saluran *input timer*.

### 4. Port C

Port C merupakan jalur data 7 *bit* yang dapat difungsikan sebagai *input/output* digital. Port yang di dalam masing- masing pin terdapat *pull-up* resistor. Jumlah pin nya hanya 7 buah mulai dari pin C.0 sampai dengan pin C.6. Sebagai keluaran/*output* port C memiliki karakteristik yang sama dalam hal menyerap arus (*sink*) ataupun mengeluarkan arus (*source*). Port C memiliki fungsi alternative dibawah ini.

- a. ADC6 *channel* (PC0,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5) dengan resolusi sebesar 10 *bit*. ADC dapat kita gunakan untuk mengubah *input* yang berupa tegangan analog menjadi data digital.
- b. I2C (SDA dan SDL) merupakan salah satu fitur yang terdapat pada PORTC. I2C digunakan untuk komunikasi dengan sensor atau *device* lain yang memiliki komunikasi data tipe I2C seperti sensor kompas, accelerometer nunchuck.

## 5. RESET/PC6

Jika RSTDISBL *Fuse* diprogram, maka PC6 akan berfungsi sebagai pin I/O. Pin ini memiliki karakteristik yang berbeda dengan pin-pin yang terdapat pada port C lainnya. Namun jika RSTDISBL *Fuse* tidak diprogram, maka pin ini akan berfungsi sebagai *input reset*. Dan jika level tegangan yang masuk ke pin ini rendah dan pulsa yang ada lebih pendek dari *pulsaminimum*, maka akan menghasilkan suatu kondisi *reset* meskipun *clock*-nya tidak bekerja.

## 6. Port D

Port D merupakan 8-bit bi-directional I/O dengan internal *pull-up* resistor. Fungsi dari port ini sama dengan port-port yang lain. Pada port ini hanya berfungsi sebagai masukan dan keluaran saja atau biasa disebut dengan I/O. Port D memiliki fungsi alternative dibawah ini.

- a. USART (TXD dan RXD) merupakan jalur data komunikasi serial dengan level sinyal TTL. Pin TXD berfungsi untuk mengirimkan data serial, sedangkan RXD kebalikannya yaitu sebagai pin yang berfungsi untuk menerima data serial.
- b. Interrupt (INT0 dan INT1) merupakan pin dengan fungsi khusus sebagai interupsi *hardware*. Interupsi biasanya digunakan sebagai selaan dari program, misalkan pada saat program berjalan kemudian terjadi interupsi *hardware/software* maka program utama akan berhenti dan akan menjalankan program interupsi.
- c. XCK dapat difungsikan sebagai sumber *clock external* untuk USART, namun kita juga dapat memanfaatkan *clock* dari CPU, sehingga tidak perlu membutuhkan *external clock*.
- d. T0 dan T1 berfungsi sebagai masukan *counter external* untuk *timer 1* dan *timer 0*.
- e. AIN0 dan AIN1 keduanya merupakan masukan *input* untuk analog comparator.

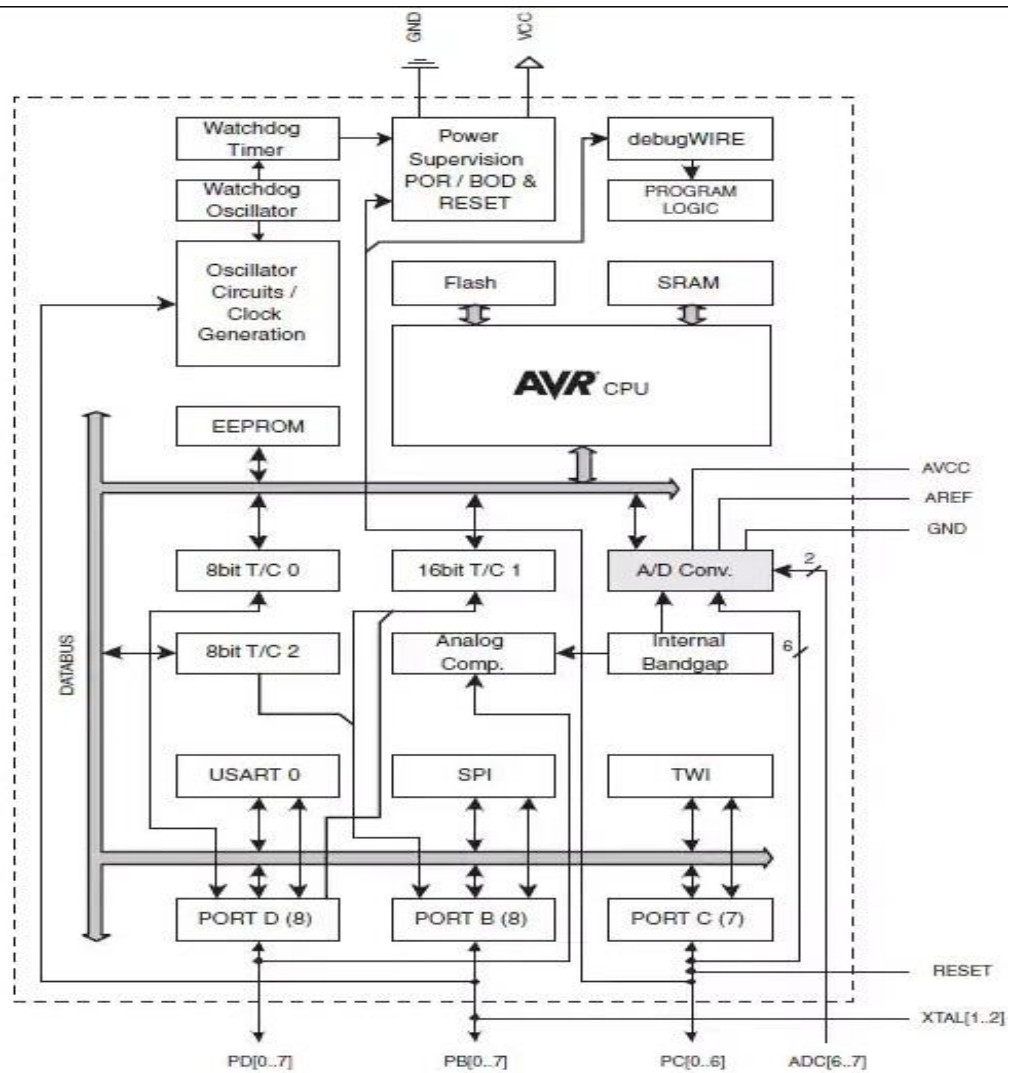
## 7. AVcc

Pin ini berfungsi sebagai *supply* tegangan untuk ADC. Untuk pin ini harus dihubungkan secara terpisah dengan VCC karena pin ini digunakan untuk

analog saja. Bahkan jika ADC pada AVR tidak digunakan tetap saja disarankan untuk menghubungkannya secara terpisah dengan VCC.

#### 8. AREF

Merupakan pin referensi jika menggunakan ADC.



**Gambar 2.12** Blok Diagram ATmega328

(Eko Oktariansyah, 2016)

Pada AVR status register mengandung beberapa informasi mengenai hasil dari kebanyakan hasil eksekusi instruksi aritmatik. Informasi ini digunakan untuk altering arus program sebagai kegunaan untuk meningkatkan performa pengoperasian. Register ini di-update setelah operasi ALU (*Arithmetic Logic Unit*) hal tersebut seperti yang tertulis dalam datasheet

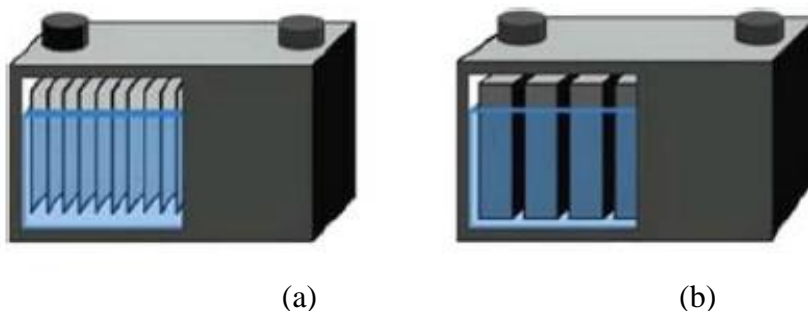


khususnya pada bagian *Instruction Set Reference*. Dalam hal ini untuk beberapa kasus dapat membuang penggunaan kebutuhan instruksi perbandingan yang telah didedikasikan serta dapat menghasilkan peningkatan dalam hal kecepatan dan kode yang lebih sederhana dan singkat. Register ini tidak secara otomatis tersimpan ketika memasuki sebuah rutin interupsi dan juga ketika menjalankan sebuah perintah setelah kembali dari interupsi.

## 2.5 AKI (*Accumulator*)/Baterai

*Accumulator* atau sering disebut *accu* adalah perangkat kimia untuk menyimpan tenaga listrik dari tenaga surya. Tanpa aki/baterai, energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari. Berdasarkan aplikasi maka aki dapat dibedakan untuk *engine starter* (otomotif) dan *deep cycle*.

- Aki untuk *engine starter* (otomotif), umumnya dibuat dengan plat timbal yang permukaannya lebih besar. Dengan demikian aki ini bisa menyuplai arus listrik yang besar pada saat awal untuk menghidupkan mesin.
- Aki *deep cycle*, biasanya digunakan untuk sistem fotovoltaiik (*Solar Cell*) dan *back up power*, dimana aki mampu mengalami *discharge* hingga muatan listriknya tinggal sedikit.



**Gambar 2.13** Jenis AKI

(a) AKI Jenis *Starter* (otomotif) dan (b) AKI Jenis *Deep Cycle*

(Sumber: <http://www.akibaterai.com>)

Secara umum Aki terdiri dari beberapa macam yaitu:

- Aki Kering

Aki kering dikenal juga sebagai baterai. Dalam aki kering ini tidak mengandung cairan sama sekali. Dilihat dari dapat atau tidaknya diisi ulang, baterai ini dikategorikan sebagai baterai yang sekali pakai dan dapat diisi ulang (*rechargeable*). Dari segi bahan, baterai ada yang terbuat dari *Nickel-Cadmium* (Ni-Cd), *Nickel-Metal Hybride* (Ni-Mh), *Lithium Ion* sampai tercanggih terbuat dari *Lithium Polymer*. Aki kering ini, biasanya dipakai untuk peralatan elektronik karena lebih ringkas. Contohnya dapat diaplikasikan pada ponsel, kamera digital atau laptop. Kelemahan dari aki ini memiliki daya tahan yang rendah dan memiliki ampere yang rendah.

- Aki Basah

Aki basah merupakan salah satu jenis accumulator yang diisi oleh larutan elektrolit asam sulfat. Larutan elektrolit ini akan bereaksi dengan lempengan timah (Pb) yang terdapat pada aki basah. Larutan elektrolit yang dapat digunakan sebagai isi ada dua jenis, yaitu larutan elektrolit berupa asam sulfat yang biasanya merupakan botol merah (zuur), dan yang berbotol biru yang isinya air murni (aqua demineral).

- Aki MF (*Maintenance Free*)

Aki MF (*maintenance free*) merupakan aki dari pengembangan dari aki basah. Aki jenis ini tidak memerlukan tambahan cairan elektrolit lagi. Aki MF ini hanya diisi sekali saja. Aki jenis ini dapat menguap, hanya air hasil penguapannya ditampung kembali dalam aki. Setelah dingin, air hasil penguapan tersebut disirkulasikan lagi dalam ruang sel aki. Dengan demikian, air aki akan terus berputar.

Tegangan *solar cell* yang dihasilkan akan digunakan oleh *charge controller* untuk mengisi baterai. Untuk menghidupkan tegangan AC (*alternating current*) seperti pada lampu, televisi dan lain-lain, arus baterai *disupply* oleh *inverter*. Energi yang disimpan pada baterai atau aki inilah yang digunakan pada malam hari.

## 2.6 Charge Controller

Pengatur pengisian muatan baterai atau disebut dengan kontroler pengisian (solar charge controller). Komponen ini berfungsi untuk mengatur besarnya arus listrik yang dihasilkan oleh modul PV agar penyimpanan ke baterai sesuai dengan kapasitas baterai. Alat ini berfungsi untuk mengatur tegangan maksimal dan minimal dari baterai dan memberikan pengamanan terhadap sistem, yaitu proteksi terhadap pengisian berlebih (overcharge) oleh penyinaran matahari, pemakaian berlebih (overdischarge) oleh beban, mencegah terjadinya arus balik ke modul surya, melindungi terjadinya hubung singkat pada beban listrik dan sebagai interkoneksi dari komponen-komponen lainnya.



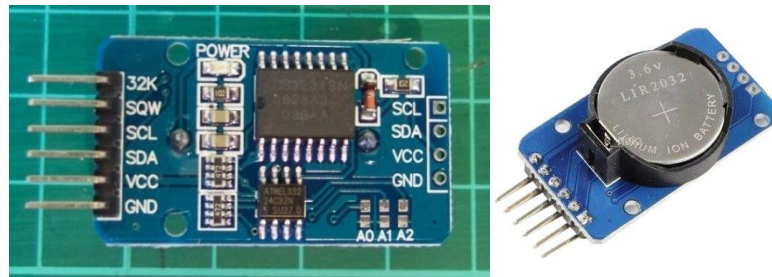
Gambar 2.14 Charge Controller.

## 2.7 RTC (Real Time Clock) DS1307

RTC (*Real Time Clock*) merupakan sebuah IC yang memiliki fungsi untuk menghitung waktu, mulai dari detik, menit, jam, tanggal, bulan, serta tahun. Ada beberapa RTC yang dijual di pasaran, seperti: DS1307, DS1302, DS12C887, DS3234 dan DS3231.

DS1307 adalah jenis RTC dengan biaya yang cukup rendah, I2C (RTC) sangat akurat dengan *temperature compensated* terintegrasi osilator Kristal (TCXO) dan Kristal. Perangkat ini menggabungkan masukan baterai dan memelihara ketepatan waktu yang akurat ketika listrik utama ke perangkat terganggu. Integrasi *resonator* Kristal meningkatkan akurasi jangka panjang perangkat juga sebagai mengurangi jumlah potongan-bagian dalam garis manufaktur.

RTC mempertahankan detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan dan informasi tahun. Jam dapat diatur dengan format 24 jam atau dengan format 12 jam (PM/AM).



**Gambar 2.15** RTC DS1307  
(Sumber: <http://indo-ware.com>)

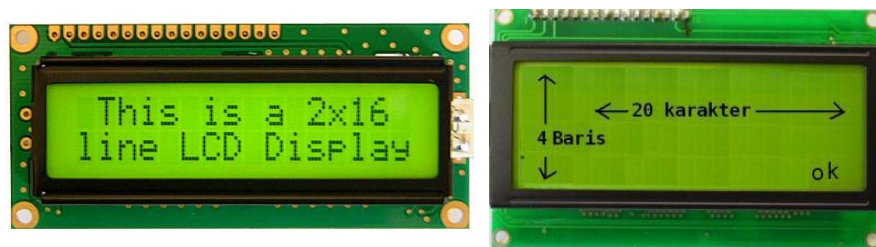
Modul RTC (*Real Time Clock*) ini memiliki akurasi dan presisi yang sangat tinggi dalam mencacah waktu dengan menggunakan IC RTC DS1307 *extremely accurate temperature compensated* RTC (TCXO). IC RTC DS1307 ini memiliki kristal internal dan rangkaian kapasitor tuning dimana suhu dan Kristal dimonitor secara berkesinambungan dan kapasitor diatur secara otomatis untuk menjaga kestabilan detak frekuensi.

Biasanya *Real Time Clock* berbentuk suatu *chip* (IC) yang memiliki fungsi sebagai penyimpan waktu dan tanggal. Dan dalam proses penyimpanannya RTC memiliki register yang dapat menyimpan data detik, menit, jam, tanggal, bulan dan tahun. RTC ini memiliki 128 lokasi RAM yang terdiri dari 15 Byte untuk data waktu serta kontrol dan 113 byte sebagai RAM umum.

Pencacahan waktu pada solusi RTC lain dapat bergeser (*drift*) hingga hitungan menit per bulannya, terutama pada kondisi perubahan suhu yang ekstrim. Modul ini paling jauh hanya bergeser kurang dari 1 menit per tahunnya (<http://www.indo-ware.com>, 2016), dengan demikian modul ini cocok untuk aplikasi kritis yang sensitif terhadap akurasi waktu yang tidak perlu disinkronisasikan secara teratur.

## 2.8 *Liquid Crystal Display (LCD)*

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan diberbagai bidang misalnya alal–alat elektronik seperti televisi, kalkulator, atau pun layar komputer. LCD berfungsi sebagai penampil yang nantinya akan digunakan untuk menampilkan status kerja alat. LCD sekarang semakin banyak digunakan, dari yang berukuran kecil, seperti LCD pada sebuah MP3 *player* sampai yang berukuran besar seperti monitor PC atau televisi. Warna yang dapat ditampilkan bisa bermacam–macam, dari yang 1 warna (*monochrome*) sampai yang 65.000 warna. Pola (*pattern*) LCD juga bisa bervariasi, dari pola yang membentuk *display 7* segmen (misalnya LCD yang dipakai untuk jam tangan) sampai LCD yang bisa menampilkan karakter/teks dan LCD yang bisa menampilkan gambar.

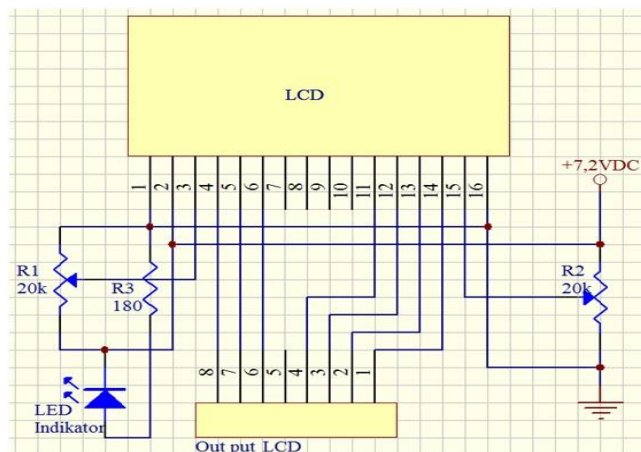


**Gambar 2.16** Bentuk Fisik LCD

Pada LCD yang bisa menampilkan karakter (LCD karakter) dan LCD yang bisa menampilkan gambar (LCD grafik), diperlukan memori untuk membangkitkan gambar CGROM (*Character Generator ROM*) dan juga RAM untuk menyimpan data (teks atau gambar) yang sedang ditampilkan (DDRAM atau *Display Data RAM*). Diperlukan pula pengendali (*controller*) untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler.

LCD karakter adalah LCD yang bisa menampilkan karakter ASCII dengan format dot matriks. LCD jenis ini bisa dibuat dengan berbagai ukuran, 1 sampai 4 baris, 16 sampai 40 karakter per baris dan dengan ukuran *font* 5x7 atau 5x10. LCD ini biasanya dirakit dengan sebuah PCB yang berisi pembangkit karakter dan IC pengendali serta *driver*-nya. Walaupun ukuran LCD berbeda–beda, tetapi

IC pengendali yang digunakan biasanya sama sehingga protokol komunikasi dengan IC juga sama. Antarmuka yang digunakan sesuai dengan *level* digital TTL (*Transistor-transistor logic*) dengan lebar bus data yang bisa dipilih 4 bit atau 8 bit. Pada bus data 4 bit komunikasi akan 2 kali lebih lama karena data atau perintah akan dikirimkan 2 kali, tetapi karena mikrokontroler sangat cepat, hal ini tidak akan menjadi masalah. Penggunaan bus data 4 bit akan menghemat pemakaian port mikrokontroler. Semua fungsi *display* diatur oleh instruksi–instruksi, sehingga modul LCD ini dapat dengan mudah dihubungkan dengan unit mikrokontroler. LCD tersusun sebanyak dua baris dengan 16 karakter.



**Gambar 2.17** Rangkaian LCD

### 2.8.1 Fitur LCD 20 x 4

Adapun fitur yang disajikan dalam LCD ini adalah:

- Terdiri dari 20 karakter dan 4 baris.
- Mempunyai 192 karakter tersimpan.
- Terdapat karakter generator terprogram.
- Dapat dialamati dengan mode 4bit dan 8bit.
- Dilengkapi dengan *backlight*.

### 2.8.2 Rangkaian Antarmuka LCD

Umumnya, sebuah LCD karakter akan mempunyai 14 pin untuk mengendalikannya. Pin-pin terdiri atas 2 pin catu daya (Vcc dan Vss), 1 pin untuk mengatur kontras LCD (Vee), 3 pin kendali (RS, R/W dan E), 8 pin data (DB0 - DB7). Pada LCD yang mempunyai *backlight*, disediakan 2 pin untuk memberikan tegangan ke dioda *backlight* (disimbolkan dengan A dan K). Tabel 2.1 memperlihatkan pin-pin LCD dan fungsinya.

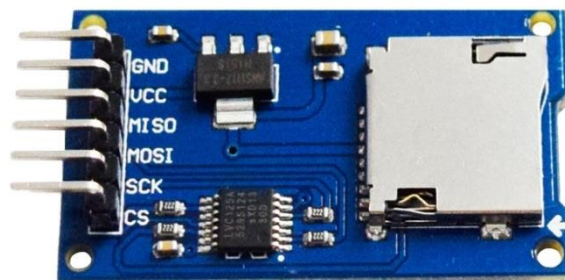
**Tabel 2.1** Keterangan Pin LCD

No	Nama	Fungsi	Keterangan
1	Vss	Catu daya (0 V atau GND)	
2	Vcc	Catu daya +5 V	
3	Vee	Tegangan LCD	
4	RS	<i>Register Select</i> , untuk memilih mengirim perintah atau data (Input)	“0” memilih <i>register</i> perintah dan “1” <i>register</i> data
5	R/W	<i>Read/Write</i> , pin untuk pengendali baca atau tulis (Input)	“0” untuk proses tulis dan “1” untuk proses baca, dalam banyak aplikasi tidak ada proses pembacaan data dari LCD, sehingga R/W bisa langsung dihubungkan ke GND
6	E	<i>Enable</i> , untuk mengaktifkan LCD untuk memulai operasi baca tulis	Pulsa: Rendah-Tinggi – Rendah

7 – 14	DB0 – DB7	Bus data ( <i>Input/Output</i> )	Pada operasi 4 bit hanya DB4 - DB7 yang digunakan, yang lain dihubungkan ke GND. DB7 dapat digunakan sebagai bit status sibuk ( <i>busy flag</i> )
15	V+	4,2 V	
16	V-	GND	

## 2.9 SD Card Module

Modul (MicroSD Card Adapter) adalah modul pembaca kartu Micro SD, melalui sistem file dan SPI antarmuka driver, MCU untuk melengkapi sistem file untuk membaca dan menulis kartu MicroSD. Pengguna Arduino langsung dapat menggunakan Arduino IDE dilengkapi dengan kartu SD untuk menyelesaikan inisialisasi kartu perpustakaan dan membaca-menulis.



**Gambar 2.18** Modul SD Card

Fitur modul adalah sebagai berikut:

1. Mendukung kartu Micro SD, kartu Micro SDHC (kartu kecepatan tinggi).
2. tingkat konversi papan sirkuit yang antarmuka level untuk 5V atau 3.3V.



3. power supply adalah 4.5V ~ 5.5V, regulator tegangan 3.3V papan sirkuit.
4. adalah komunikasi antarmuka SPI antarmuka standar.
5. empat (4) M2 lubang sekrup posisi untuk kemudahan instalasi.

Control Interface : Sebanyak enam pin (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND ke ground, VCC adalah power supply, MISO, MOSI, SCK adalah SPI bus, CS adalah chip pilih pin sinyal.

## 2.10 Motor Servo

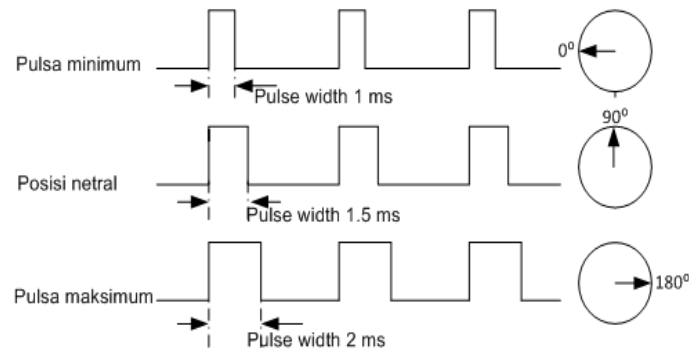
Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor. motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.

Penggunaan sistem kontrol loop tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Penjelasan sederhananya begini, posisi poros output akan di sensor untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang di inginkan atau belum, dan jika belum, maka kontrol input akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan. Untuk lebih jelasnya mengenai sistem kontrol loop tertutup, perhatikan contoh sederhana beberapa aplikasi lain dari sistem kontrol loop tertutup, seperti penyetelan suhu pada AC, kulkas, setrika dan lain sebagainya.

Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya.



poros motor servo akan berputar ke arah posisi  $180^{\circ}$  atau ke kanan (searah jarum jam).



**Gambar 2.20** Pulsa minimum dan maksimum motor servo

Ketika lebar pulsa kendali telah diberikan, maka poros motor servo akan bergerak atau berputar ke posisi yang telah diperintahkan, dan berhenti pada posisi tersebut dan akan tetap bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka motor servo akan mencoba menahan atau melawan dengan besarnya kekuatan torsi yang dimilikinya (rating torsi servo). Namun motor servo tidak akan mempertahankan posisinya untuk selamanya, sinyal lebar pulsa kendali harus diulang setiap 20 ms (mili detik) untuk menginstruksikan agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya.

## 2.11 Sensor Tegangan

Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi, dan dapat membuat tegangan input berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli.

Fitur-fitur dan kelebihanya:

- Variasi Tegangan masukan: DC 0 - 25 V.
- Deteksi tegangan dengan jangkauan: DC 0.02445 V - 25 V.
- Tegangan resolusi analog: 0,00489 V.

- Tegangan DC masukan antarmuka: terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND.
- Output Interface: "+" Koneksi 5 / 3.3V, "-" terhubung GND, "s" terhubung Arduino pin A0.
- DC antarmuka masukan: red terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND.



**Gambar 2.21** Sensor Tegangan