

## BAB II

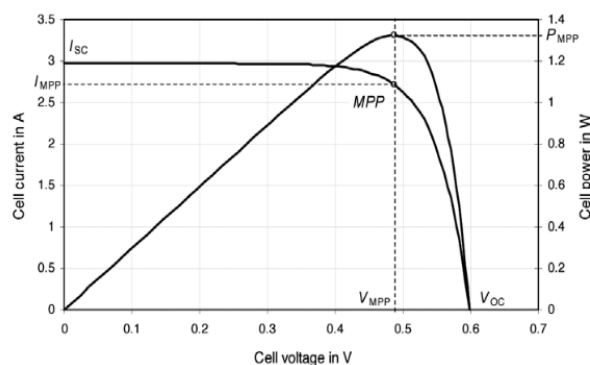
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Solar cell*

*Solar cell* atau energi *Photovoltaic* adalah teknologi yang menghasilkan arus searah (DC) listrik diukur dalam watt (W) atau kilowatt (kW) dari semikonduktor ketika mereka diterangi oleh foton. Selama cahaya menyinari sel surya (nama untuk unsur PV individu), itu menghasilkan tenaga listrik<sup>1</sup>.

##### 2.1.1 Karakteristik *Solar cell*

Total pengeluaran listrik (Watt) dari *solar cell* sama dengan tegangan (V) operasi dikalikan dengan arus (I) operasi. Tegangan serta arus keluran yang dihasilkan ketika *solar cell* memperoleh penyinaran merupakan karakteristik yang disajikan dalam bentuk kurva pada gambar 2.1 kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal (*Maximum Power Point*) maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum ( $P_{MPP}$ ). Tegangan di *Maximum Power Point* (MPP)  $V_{MPP}$ , lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka ( $V_{OC}$ ) dan arus saat MPP  $I_{MPP}$ , adalah lebih rendah dari arus *short circuit* ( $I_{SC}$ ).<sup>2</sup>



**Gambar 2.1** Kurva karakteristik keluaran *solar cell*

(Sumber Quaschnig, Volker. *Understanding Renewable Energy System*. London : Earthscan. 2005. hlm. 138.)

<sup>1</sup> Luque, Antonio dan Hegedus, Steven. *Second Edition Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Inggris : Willey. 2011. Hlm 4.

<sup>2</sup> Quaschnig, Volker. *Understanding Renewable Energy System*. London : Earthscan. 2005. hlm. 137.

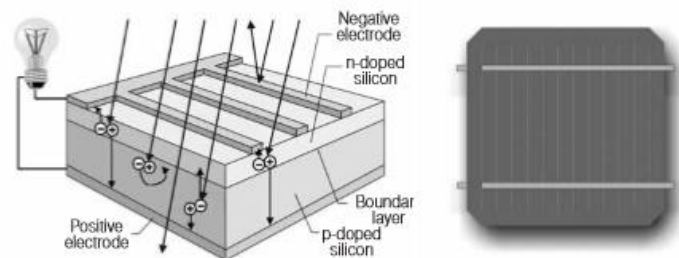
- *Short Circuit Current* ( $I_{sc}$ ) : terjadi pada suatu titik dimana tegangannya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluaran adalah nol.
- *Open Circuit Voltage* ( $V_{oc}$ ) : terjadi pada suatu titik dimana arusnya adalah nol, sehingga pada saat ini pun daya keluaran adalah nol.
- *Maximum Power Point* (MPP): adalah titik daya output maksimum.

Berikut adalah karakteristik *solar cell* yang digunakan:

- *Max Power* ( $P_m$ ) (W) : 50 Wp
- *Max Power Voltage* ( $V_m$ ) (V) : 17.5 V
- *Max Power Current* ( $I_m$ ) (A) : 2.85 A
- *Open Circuit Voltage* ( $V_{oc}$ ) (V) : 21.08 V
- *Short Circuit Current* ( $I_{sc}$ ) (A) : 3.44 A

### 2.1.2 Teknologi Crystalline Solar cell

Sistem fotovoltaik tersusun dari bahan semikonduktor. Semikonduktor tersebut memiliki empat elektron di kulit terluar, atau orbit, rata-rata. Elektron ini disebut elektron valensi. Semikonduktor SD adalah elemen kelompok IV dari tabel periodik unsur, misalnya silikon (Si), germanium (Ge) atau timah (Sn). Senyawa dari dua elemen yang mengandung salah satu unsur dari kelompok III dan satu dari kelompok V (disebut senyawa III-V) dan II-VI senyawa atau kombinasi dari berbagai elemen juga memiliki empat elektron valensi rata-rata.<sup>3</sup>



**Gambar 2.2** Struktur *Solar cell* dan Tampak depan dari *Solar cell Crystalline Silicon*

(Sumber: Quaschnig, Volker. *Understanding Renewable Energy System*. London : Earthscan. 2005. hlm. 129.)

<sup>3</sup>*Ibid*, hlm. 120.

a. *Crystalline Silikon (c-Si)*

Teknologi pertama yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti adalah teknologi yang menggunakan bahan silikon kristal tunggal. Teknologi ini mampu menghasilkan sel surya dengan efisiensi yang sangat tinggi. Teknologi *crystalline* silikon (c-Si) dibagi menjadi dua yaitu *mono-crystalline* dan *multi-crystalline (poly-crystalline)*.

- *Monocrystalline*

Untuk tipe *monocrystalline*, mempunyai ciri khas berwarna hitam (berasal dari silikon murni). Bentuk *monocrystalline silicon* seperti pada Gambar 2.3, bersumber dari *silicon* tunggal berbentuk silinder yang diiris tipis dengan ketebalan sekitar 200-250  $\mu\text{m}$ .

Kekurangan bentuk mono ini adalah modulnya tidak rapat yang menjadi kerugian menyerap panas. Keuntungannya adalah untuk lahan yang sempit dengan intensitas matahari yang tinggi menjadikan sel surya *monocrystalline* sangat baik dibandingkan yang jenis *polycrystalline*.



**Gambar 2.3** *Panel Monocrystalline Silikon*

(Sumber: Mustofa. *Desain Hybrid Panel Surya Tipe Monocrystalline Dan Thermal Kolektor Fluida Air*. UNTAD. Palu.)

- *Polycrystalline*

*Polycrystalline* terbuat dari batang silikon yang dihasilkan dengan cara dilelehkan dan dicetak oleh pipa paralel, lalu lapisan sel surya ini dibentuk persegi dengan ketebalan 180-300  $\mu\text{m}$ . *Polycrystalline* dibuat dengan tujuan untuk menurunkan harga produksi, sehingga memperoleh sel surya dengan harga yang lebih murah, namun tingkat efisiensi sel surya ini tidak lebih baik dari *polycrystalline* yaitu sebesar 12-14%.

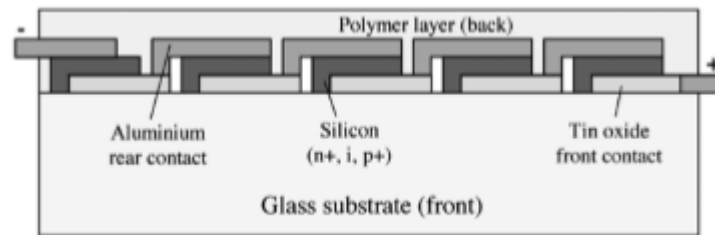


**Gambar 2.4** Panel Polycrystalline Silikon

b. Lapisan tipis (*thin film*)

Selain *solar cell* dari teknologi *crystalline silicon*, adapun modul *thin film* yang dibuat silikon amorf dan bahan lainnya seperti *cadmium telluride* (CdTe) atau *tembaga indium diselenide* (CuInSe<sub>2</sub> atau CIS). Modul film tipis dapat diproduksi dengan menggunakan sebagian kecil dari bahan semikonduktor yang diperlukan untuk modul kristal dan ini menjanjikan biaya produksi yang lebih rendah dalam jangka menengah.

Dasar untuk *solar cell amorf silicon* adalah substrat; yang umumnya ialah kaca atau foil logam. Dilakukan proses semprot lapisan tipis oksida timah transparan pada substrat kaca. Lapisan ini berfungsi sebagai kontak depan transparan. Sebuah pemotongan Laser lapisan ini menjadi strip dalam rangka menciptakan koneksi serial terintegrasi dan deposisi uap pada suhu tinggi menambahkan silikon dan dopan ke substrat. A 10-nm p-lapisan dan setelah 10 nm lapisan penyangga disimpan. Lapisan 1000-nm intrinsik dari silikon amorf dan akhirnya 20-nm n-lapisan follow. Proses *screen-printing* menambahkan kontak kembali, yang sebagian besar terbuat dari aluminium. Sampel kemudian baik dilaminasi atau dilapisi dengan polimer untuk melindungi modul surya dari pengaruh iklim. Gambar 2.5 menunjukkan struktur modul surya silikon amorf.



**Gambar 2.5** Struktur *solar cell silicon amorf*

(Sumber: Quaschnig, Volker. *Understanding Renewable Energy System*. London : Earthscan. 2005. hlm. 130.)

## 2.2 DC-DC Converter

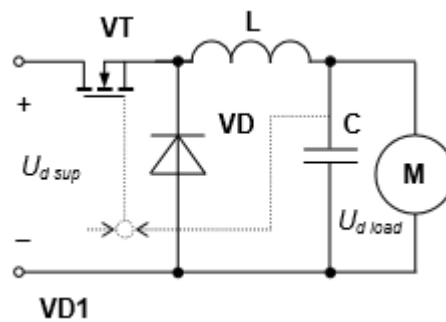
*Converter* adalah sebuah rangkaian pengalih tegangan, dimana rangkaian ini mampu mengubah tegangan output dc yang sumbernya merupakan tegangan dc. Pada rancangan ini sebuah *Converter* digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber tegangan DC ke DC yang didapatkan dari panel surya kemudian pada aki. Secara umum ada tiga fungsi pengoperasian dari DC to DC konverter yaitu penaikan tegangan (*boost*) dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan, penurunan tegangan (*buck*) dimana tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan dan penaikan atau penurunan tegangan (*buck-boost*) dimana tegangan keluaran lebih rendah atau lebih tinggi dari tegangan masukan.

DC to DC konverter merupakan rangkaian elektronika daya (*power electronic*) untuk mengubah suatu tegangan DC masukan menjadi tegangan DC keluaran yang lebih besar atau lebih kecil. Pada tugas akhir ini, rangkaian DC to DC konverter yang akan dirancang merupakan *switched mode DC to DC konverter*. Tegangan DC masukan dari proses DC to DC konverter tersebut berasal dari sumber tegangan DC yang dihasilkan oleh sel surya (*solar cell*).

### 2.2.1 Buck Converter

*Buck Converter* merupakan salah satu jenis dari DC-DC *Converter*. Rangkaian elektronika daya ini dapat mengubah tegangan DC pada nilai tertentu menjadi tegangan DC yang lebih rendah. Untuk mendapatkan tegangan yang lebih rendah daripada masukannya, *Buck Converter* menggunakan komponen *switching*

untuk mengatur *duty cycle*-nya. Komponen *switching* tersebut dapat berupa thyristor, MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), IGBT, dan lainnya. Tegangan output yang dihasilkan mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan inputnya. *Buck Converter* biasa disebut juga sebagai *step-down Converter*. Berikut ini merupakan rangkaian dari *buck Converter*:



**Gambar 2.6** Topologi *Buck Converter*

(Sumber: Vodovozov, Valery. *Introduction to Power Electronic*. Ventus Publishing ApS. 2010. Hlm.60)

Pada tahap rancangan topologi *buck Converter* ini, saklar daya (VT) ditempatkan langsung antara sumber tegangan input  $U_{d\ sup}$  dan bagian filter. Saklar berfungsi untuk mengisi energi yang hilang ke beban selama waktu *off* nya. Dioda VD, Induktor dan kapasitor mengatur penyimpanan energi yang tujuannya adalah untuk menghemat energi yang cukup untuk mempertahankan arus.<sup>4</sup>

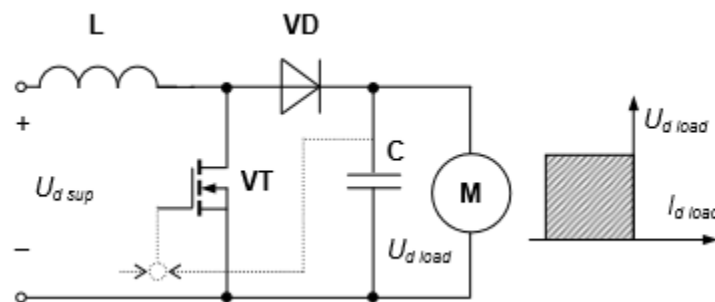
Secara umum, komponen-komponen yang menyusun DC *Chopper* Tipe Buck (*Buck Converter*) adalah sumber masukan DC, MOSFET, Dioda, Induktor, Kapasitor, Rangkaian Kontrol (*Drive Circuit*), serta Beban (R). MOSFET digunakan untuk mencacah arus sesuai dengan *duty cycle* sehingga keluaran DC *Chopper* dapat sesuai dengan yang diinginkan. Rangkaian Kontrol digunakan untuk mengendalikan MOSFET, sehingga MOSFET mengetahui kapan harus membuka dan kapan harus menutup. Induktor digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk arus. Energi tersebut disimpan ketika MOSFET *on* dan dilepas ketika MOSFET *off*. Dioda digunakan untuk mengalirkan arus yang dihasilkan induktor ketika MOSFET *off*.

<sup>4</sup>Vodovozov, Valery. *Introduction to Power Electronic*. Ventus Publishing ApS. 2010. Hlm.59.

Untuk menghasilkan tegangan keluaran yang konstan, DC Chopper Tipe Buck dapat ditambah dengan rangkaian *feedback* (umpan balik). Pada rangkaian *feedback* ini, tegangan keluaran dari DC Chopper akan dibandingkan dengan tegangan referensi, selisih keduanya akan digunakan untuk menentukan *duty cycle* yang perlu ditambah atau dikurang sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang konstan.

### 2.2.2 Boost Converter

*Boost Converter* adalah *Converter* yang menghasilkan tegangan output yang lebih besar dari tegangan inputnya. Tegangan output yang dihasilkan mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan inputnya. *Boost Converter* biasa disebut juga sebagai *step-up Converter*. Berikut ini merupakan rangkaian dari *boost Converter*:



**Gambar 2.7** Topologi *Boost Converter*

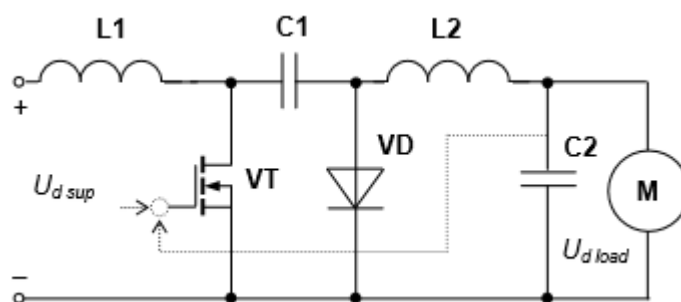
(Sumber: Vodovozov, Valery. *Introduction to Power Electronic*. Ventus Publishing ApS. 2010. Hlm.59.)

Gambar di atas, menjelaskan, operasi penaik terdiri dari dua periode. Ketika switch power pada kondisi *on*, arus yang melalui induktor, yang menyebabkan energi untuk disimpan dalam materi *coil* nya. Switch kemudian mati. Karena arus yang melalui induktor tidak dapat mengubah arah seketika, itu terpaksa mengalir melalui dioda dan beban dan cadangan tegangan induktor. Ini menyebabkan dioda bias maju, sehingga pembuangan energi induktor menuju ke kapasitor. Dengan cara ini, energi yang disimpan oleh induktor mengisi kapasitor, tegangan yang menyuplai beban. Induktor menurunkan beban. Proses ini berlanjut sampai energi induktor dikosongkan. Karena tegangan induktor melewati kembali di atas tegangan input, tegangan kapasitor menjadi lebih tinggi dari tegangan

input. Ketika tegangan kapasitor mencapai tingkat yang diinginkan, switch *on* sekali lagi. Kapasitor tidak dapat melepaskan melalui saklar, seperti dioda cadangan-bias. Oleh karena itu, tegangan yang stabil biasanya dua kali dari tegangan input atau lebih, dapat diperoleh.

### 2.2.3 Buck-Boost Converter

*Buck-Boost Converter*, yang menghasilkan beban tegangan dari tingkat yang kurang atau lebih tinggi dari tegangan suplai. Seperti pada *step-down Converter*, switch power VT ditempatkan langsung antara sumber tegangan input  $U_{d\ sup}$  dan bagian filter. Dioda VD, induktor L, dan kapasitor C menyusun penyimpanan energi. Ketika saklar *on*, induktor terhubung ke sumber tegangan dan induktor beban. Sementara switch *off*, tegangan pada induktor mengubah mengubah polaritas dan induktor penurunan arus yang mengalir melalui beban dan dioda.



Gambar 2.8 Topologi *Buck-Boost Converter*

(Sumber: Vodovozov, Valery. *Introduction to Power Electronic*. Ventus Publishing ApS. 2010. Hlm.71.)

### 2.3 Accumulator

*Accumulator* atau sering disebut aki, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). Aki mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Di pasaran saat ini sangat beragam jumlah dan jenis aki yang dapat ditemui. Aki untuk mobil biasanya mempunyai tegangan sebesar 12 Volt, sedangkan untuk motor ada tiga



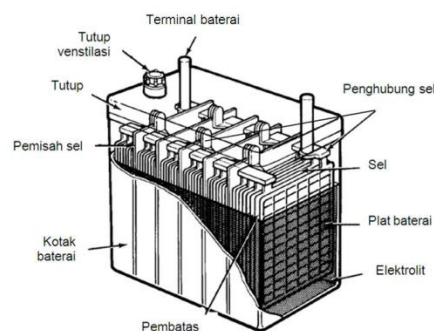
jenis yaitu, dengan tegangan 12 Volt, 9 volt dan ada juga yang bertegangan 6 Volt. Selain itu juga dapat ditemukan pula aki yang khusus untuk menyalakan tape atau radio dengan tegangan juga yang dapat diatur dengan rentang 3, 6, 9, dan 12 Volt. Tentu saja aki jenis ini dapat dimuati kembali (*recharge*) apabila muatannya telah berkurang atau habis. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (*katoda*) ke elektroda positif (*anoda*) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (*dry cells*).

*Allesandro Volta*, seorang ilmuwan fisika mengetahui, gaya gerak listrik (ggl) dapat dibangkitkan dua logam yang berbeda dan dipisahkan larutan elektrolit. Volta mendapatkan pasangan logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat membangkitkan ggl yang lebih besar dibandingkan pasangan logam lainnya (kelak disebut elemen Volta). Hal ini menjadi prinsip dasar bagi pembuatan dan penggunaan elemen sekunder. Elemen sekunder harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik melaluinya (secara umum dikenal dengan istilah disetrum). Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan aki. Dalam sebuah aki berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charging*). Jenis aki yang umum digunakan adalah *accumulator* timbal. Secara fisik aki ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dimasukkan pada larutan asam sulfat encer ( $H_2SO_4$ ). Larutan elektrolit itu ditempatkan pada wadah atau bejana aki yang terbuat dari bahan ebonit atau gelas. Kedua belah pelat terbuat dari timbal (Pb), dan ketika

pertama kali dimuati maka akan terbentuk lapisan timbal dioksida ( $PbO_2$ ) pada pelat positif. Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dibuat untuk tidak saling menyentuh dengan adanya lapisan pemisah yang berfungsi sebagai isolator (bahan penyekat).

### 2.3.1 Macam dan Cara Kerja Aki

Aki yang ada di pasaran ada 2 jenis yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah media penyimpanan arus listrik ini merupakan jenis paling umum digunakan. Aki jenis ini masih perlu diberi air aki yang dikenal dengan sebutan *accu zuur*. Sedangkan aki kering merupakan jenis aki yang tidak memakai cairan, mirip seperti baterai telepon selular. Aki ini tahan terhadap getaran dan suhu rendah. 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 ( $Pb$ ). Pelat-pelat ditempatkan pada batang penghubung. Pemisah atau *separator* menjadi isolasi diantara pelat itu, dibuat agar baterai *acid* mudah beredar disekeliling pelat. Bila ketiga unsur kimia ini berinteraksi, muncullah arus listrik.



**Gambar 2.9** Sel accumulator

(Sumber: <http://www.kitapunya.net/2015/03/kontsruksi-bagian-baterai-aki.html>. Diakses pada Senin, 11 Juli 2016: 08.18).

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. Pada aki terdapat batas minimum dan maksimum tinggi permukaan air aki untuk

masing-masing sel. Bila permukaan air aki di bawah level minimum akan merusak fungsi sel aki. Jika air aki melebihi level maksimum, mengakibatkan air aki menjadi panas dan meluap keluar melalui tutup sel.

### 2.3.2 Konstruksi Aki

#### 1. Plat positif dan negatif

Plat positif dan plat negatif merupakan komponen utama suatu aki. Kualitas plat sangat menentukan kualitas suatu aki, plat-plat tersebut terdiri dari rangka yang terbuat dari paduan timbal antimon yang di isi dengan suatu bahan aktif. Bahan aktif pada plat positif adalah timbal peroksida sedang pada plat negatif adalah spons – timbal.

#### 2. Separator dan lapisan serat gelas

Antara plat positif dan plat negatif disisipkan lembaran separator yang terbuat dari serat *cellulosa* yang diperkuat dengan resin. Lembaran lapisan serat gelas dipakai untuk melindungi bahan aktif dari plat positif, karena timbal peroksida mempunyai daya kohesi yang lebih rendah dan mudah rontok jika dibandingkan dengan bahan aktif dari plat negatif. Jadi fungsi lapisan serat gelas disini adalah untuk memperpanjang umur plat positif agar dapat mengimbangi plat negatif, selain itu lapisan serat gelas juga berfungsi melindungi separator.

#### 3. Elektrolit

Cairan elektrolit yang dipakai untuk mengisi aki adalah larutan encer asam sulfat yang tidak berwarna dan tidak berbau. Elektrolit ini cukup kuat untuk merusak pakaian. Untuk cairan pengisi aki dipakai elektrolit dengan berat jenis 1.260 pada 20° C.

#### 4. Penghubung antara sel dan terminal

Aki 12 volt mempunyai 6 sel, sedang Aki 6 volt mempunyai 3 sel. Sel merupakan unit dasar suatu Aki dengan tegangan sebesar 2 volt. Penghubung sel (*conector*) menghubungkan sel sel secara seri. Penghubung sel ini terbuat dari paduan timbal antimon. Ada dua cara penghubung sel - sel tersebut. Yang pertama melalui atas dinding penyekat dan yang kedua

melalui (menembus) dinding penyekat. Terminal terdapat pada kedua sel ujung (pinggir), satu bertanda positif (+) dan yang lain negatif (-). Melalui kedua terminal ini listrik dialirkan penghubung antara sel dan terminal.

#### 5. Sumbat

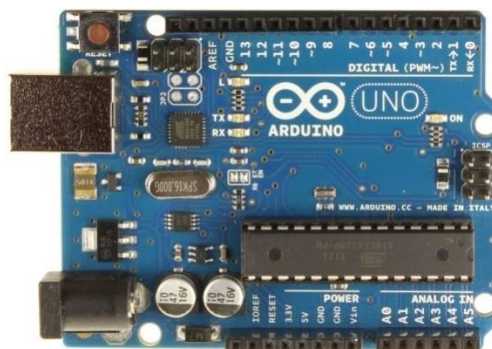
Sumbat dipasang pada lubang untuk mengisi elektrolit pada tutup aki, biasanya terbuat dari plastik. Sumbat pada Aki motor tidak mempunyai lubang udara. Gas yang terbentuk dalam Aki disalurkan melalui slang plastik/ karet. Uap asam akan tertahan pada ruang kecil pada tutup aki, kemudian asamnya dikembalikan kedalam sel.

#### 6. Perekat bak dan tutup

Ada dua cara untuk menutup aki, yang pertama menggunakan bahan perekat lem, dan yang kedua dengan bantuan panas (*Heat Sealing*). Yang pertama untuk bak *polystyrene* sedang yang kedua untuk bak *polipropylene*.

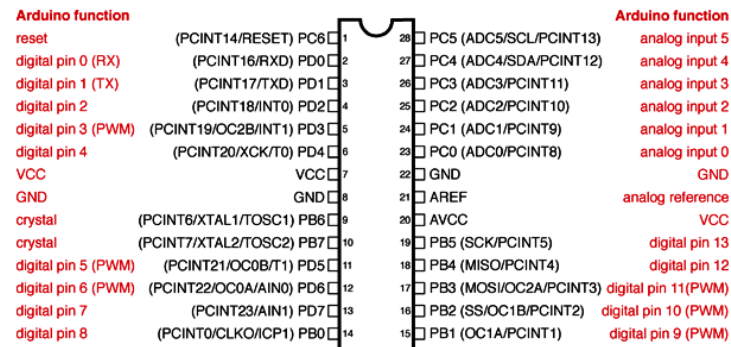
### 2.4 Board Arduino Uno

Board Arduino Uno menggunakan mikrokontroler ATmega328P. Secara umum, posisi/letak pin-pin terminal I/O pada berbagai Board Arduino posisinya sama dengan posisi/letak pin-pin I/O dari Arduino Uno yang mempunyai 14 pin digital yang dapat di set sebagai Input/Output (beberapa diantaranya mempunyai fungsi ganda), 6 pin Input Analog.



**Gambar 2.10** Board Arduino Uno

Dan berikut merupakan peta pengalaman pin-pin ATmega328P pada board Arduino Uno.



**Gambar 2.11** Peta Pangalamatan Pin Atmega328

### 2.4.1 Bagian-bagian Board Arduino Uno

Beberapa fasilitas yang dimiliki oleh Mikrokontroler ATmega328P adalah sebagai berikut :

- Tegangan operasi 5 volt
- Tegangan input (rekomendasi) 7-12 volt
- Tegangan input (batas) 6 -20 volt
- Memiliki 14 pin I/O (diantaranya menyediakan 6 output PWM)
- Memiliki 6 Digital pin I/O PWM
- Memiliki 6 pin Analog
- Arus DC setiap pin I/O adalah 20 mA
- Arus DC untuk pin 3.3V adalah 50 mA
- Flash memory 32 KB (ATmega328P)
- SRAM 2 KB
- EEPROM 1 KB
- Clock Speed 16 Mhz
- Panjang board 68.6 mm
- Lebar Board 53.4 mm
- Berat board 25 gram

Bagian-bagian pada board Arduino Uno dijelaskan sebagai berikut:

- *USB to Computer*

Digunakan untuk koneksi ke komputer atau alat lain menggunakan komunikasi serial RS-232 standars. Bekerja ketika JPO dalam posisi 2-3.

- DC1, 2.1 mm *power jack*

Digunakan sebagai sumber tegangan (catu daya) dari luar, sudah terdapat regulator tegangan yang dapat meregulasi masukan tegangan antara +7V sampai +18V (masukan tegangan yang disarankan antara +9C s/d +12V). pin 9V dan 5V dapat digunakan sebagai sumber ketika diberi sumber tegangan dari luar.

- ICSP, 2X3 *pinheader*

Untuk memprogram bootloader ATmega atau memprogram Arduino dengan *software* lain, berikut ini keterangan fungsi tiap pin:

**Tabel 2.1** Keterangan pin ICSP pada Arduino Uno

1	MISO	+5V	2
3	SCK	MOSI	4
5	RST	GND	6

- JPO, 3 pin jumper

Ketika posisi 2-3, board pada keadaan serial enabled (X1 connector dapat digunakan). Ketika posisi 1-2 board pada keadaan serial disabled (X1 connector tidak berfungsi) dan eksternal *pull-down* resistor pada pin0 (RX) dan pin1 (TX) dalam keadaan aktif, resistor *pull-down* untuk mencegah *noise* dari RX.

- JP4

Ketika pada posisi 1-2, board dapat mengaktifkan fungsi *auto-reset* yang berfungsi ketika meng-*upload* program pada board tanpa perlu menekan tombol reset S1.

- S1

Adalah push button yang berfungsi sebagai tombol reset.

- LED
  - POWER led : menyala ketika Arduino dinyalakan dengan diberi tegangan dari DC1.
  - RX led : berkedip ketika menerima data melalui komputer lewat komunikasi serial.
  - TX led : berkedip ketika mengirim data melalui komunikasi serial.
  - L led : terhubung dengan digital pin 13. Berkedip ketika bootloading.
- DIGITAL PINOUT IN/OUT
 

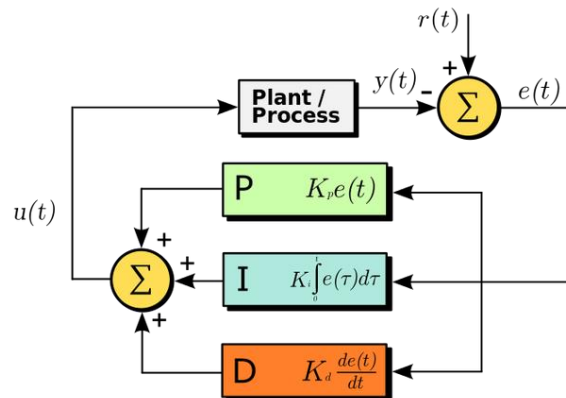
8 digital pin inputs/outputs: pin 0-7 (terhubung pada PORT D dari ATMEGA). Pin-0 (RX) dan Pin-1 (TX) dapat digunakan sebagai pin komunikasi. Untuk ATmega168/328 pin 3,5 dan 6 dapat digunakan sebagai output PWM. 6 digital pin inputs/outputs: pin 8-13 (terhubung pada port B). Pin10(SS), pin11(MOSI), pin12(MISO), pin13(SCK) yang bias digunakan sebagai SPI (Serial Peripheral Interface). Pin 9,10 dan 11 dapat digunakan sebagai output PWM untuk ATmega8 dan ATmega168/328.
- ANALOG PINOUT INPUT
 

6 analog input: pin 0-5(A0-A5) (terhubung pada PORT C). Pin4 (SDA) dan pin5 (SCL) yang dapat digunakan sebagai I2C (*two-wire serial bus*). Pin analog ini dapat digunakan sebagai pin digital pin14 (A0) sampai pin digital pin19 (A5).

## 2.5 PID Controller

PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan kontroler yang digunakan untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan mempertahankan titik proses set untuk mencapai nilai yang diinginkan sistem.

Persamaan kontrol PID dapat disajikan dalam berbagai cara, namun formulasi umum adalah:  $PID = kP * Error + kI * \sum Error + kD * dP/dT$  atau dapat ditulis dalam blok diagram sebagai berikut:



**Gambar 2.12** Blok Diagram PID *controller*

Keterangan:

$$mv(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dengan:

$mv(t)$  : output PID *controller*

$K_p$  : konstanta *Proportional*

$K_i$  : konstanta *Integral*

$K_d$  : konstanta *Derivative*

$e(t)$  : *error* (didapatkan dari selisih nilai antara set point dengan level aktual)

### **Kontroler *Proportional* (P)**

Pengaruh pada sistem yang diberikan oleh kontroler proporsional yaitu:

- Dapat menambah atau mengurangi kestabilan
- Memperbaiki respon transien. Khususnya *rise time* dan *settling time*
- Mengurangi *Error steady state*

Kontroler proporsional memberi pengaruh langsung (sebanding) pada *error* yaitu semakin besar *error* maka semakin besar sinyal kendali yang dihasilkan kontroler.

Ciri-ciri kontrol proporsional:

- Jika nilai  $K_p$  kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat (menambah *rise time*)



- Jika nilai  $K_p$  dinaikkan, respon atau tanggapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya (mengurangi *rise time*)
- Namun jika nilai  $K_p$  dinaikkan terlalu besar sehingga mencapai nilai yang berlebihan, maka akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau sistem akan berisolasi.
- Nilai  $K_p$  dapat diset sedemikian sehingga mengurangi *steady state error*, tetapi tidak menghilangkannya.

### **Kontroler Integratif**

Pengaruh sistem yang diberikan oleh kontroler integral ini antara lain;

- Menghilangkan *error steady state*
- Respon lebih lama (dibanding P)
- Dapat menimbulkan ketidakstabilan (karena menambah orde sistem)

Keluaran pengontrol ini merupakan hasil penjumlahan yang terus-menerus dari perubahan masukannya. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

Ciri-ciri pengontrol integral:

- Keluaran pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.
- Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai  $K_i$ .
- Konstanta integral  $K_i$  yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta  $K_i$  akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

### **Kontrol *Derivative***

Pengaruh yang diberikan sistem oleh penggunaan kontroler *derivative* antara lain:

- Memberikan efek redaman pada sistem yang berisolasi
- Memperbaiki respon transien, karena memberikan aksi saat ada perubahan *error*
- Nilai D hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga saat ada *error* statis D tidak beraksi

Ciri-ciri pengontrol derivatif :

- Pengontrol tidak dapat menghasilkan keluaran jika tidak ada perubahan pada masukannya (berupa perubahan sinyal kesalahan)
- Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai Kd dan laju perubahan sinyal kesalahan.
- Pengontrol diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.
- Dengan meningkatkan nilai Kd, dapat meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi *overshoot*.

Berdasarkan karakteristik pengontrol ini, pengontrol diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja pengontrol diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu pengontrol diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lainnya.