

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Literature Review**

Untuk memperoleh landasan dasar perancangan sistem pada penelitian ini maka dilakukan analisis terhadap penelitian-penelitian sebelumnya.

Dalam skripsi di Universitas Jember yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega16” (**Sidiq, 2015**). Pada penelitian ini baterai yang digunakan adalah baterai *lead acid* 12V 45Ah dan untuk sistem kontrolnya menggunakan Mikrokontroler Atmega16 untuk rangkaian *buck converter* menggunakan frekuensi 31 KHz, induktor 0.8 mH, dan kapasitor 80.6 uF dengan tegangan *input* 80 V.

Dalam Skripsi di Universitas Muhammadiyah Surakarta yang berjudul “Rancang Sistem Pengisian Baterai Secara Cepat dan Pemutus Arus Otomatis dengan Regulator LM338K” (**Setyawan, 2017**). Pada penelitian ini baterai yang digunakan adalah baterai *lead acid* 12V 7Ah dan rangkaian kontrol yang digunakan terdiri dari IC LM338 yang berfungsi sebagai pengatur tegangan dan TIP122 sebagai pemutus arus otomatis.

Dalam Skripsi di Universitas Indonesia yang berjudul “Rancang Bangun System Battery Charging Automatic” ( **Andri, 2010**). Pada Penelitian ini baterai yang digunakan baterai *lead acid* 12V 7Ah dan Sistem pengendali disini menggunakan relay sebagai *driver switch* untuk kontrolnya menggunakan mikrokontroler Atmega8535.

#### **2.2. Baterai**

Baterai adalah perangkat penyimpanan energi elektrokimia. Energi kimia yang terkandung dalam baterai dapat diubah menjadi energi listrik DC. Pada baterai isi ulang, proses tersebut dapat dibalik yaitu mengubah energi listrik DC menjadi energi kimia (**Sidiq, 2015**).

Baterai isi ulang diklasifikasikan oleh bahan kimia yang digunakan, bahan reaktan dan reaksi kimia merupakan dasar dari pembentukan mekanisme penyimpanan energi. Empat bahan kimia yang umum digunakan dalam aplikasi

konsumen: *lead-acid*, *nickel-cadmium* (NiCd), *nickel-metal hydride* (NiMH), *lithium ion* (Li-Ion) dan *lithium polymer* (Li-Po). Baterai kimia yang dinilai sesuai dengan beberapa kriteria seperti: biaya, *self-discharge* (tingkat dimana baterai secara alami kehilangan energi sementara tanpa digunakan), *energy density* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan volume), *specific energy* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan berat), dan *cycle life* (jumlah pengisian baterai dapat diisi ulang sebelum pemakaian habis). Setiap baterai kimia memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri sehubungan dengan kriteria tersebut. Tabel 2.1 memberikan gambaran singkat mengenai karakteristik berbagai baterai kimia yang sering digunakan dalam produk konsumen (Sidiq, 2015).

**Tabel 2.1 Karakteristik macam-macam baterai kimia (Sidiq, 2015)**

<i>Criteria</i>	<i>Lead Acid</i>	<i>NiCd</i>	<i>NiMH</i>	<i>Li-ion</i>
<i>Self Discharge Rate</i>	<i>Very low</i>	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>
<i>Overcharge Tolerance</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>	<i>low</i>	<i>Very low</i>
<i>Specific Energy (Whper kg)</i>	25 - 35	35 - 65	40 - 100	110 - 190
<i>Charging Temperature (°C)</i>	0 - 25	0 - 45	0 - 45	0 - 45
<i>Cycle Life (up to 80% of initial capacity)</i>	200 to 300	1000 - 1500	750 - 1000	500 - 1000
<i>Cost per unit Energy (\$/Wh)</i>	\$0.22 - \$1.00	\$0.80 - \$2.00	\$0.40 - \$2.00	\$0.60 - \$2.50
<i>Voltage per cell (Volts)</i>	2	1,2	1,25	3,6

### 2.2.1. Baterai Lithium-Ion (Albarri, 2013)

Baterai ion litium (biasa disebut Baterai Li-ion atau LIB) adalah salah satu anggota keluarga baterai isi ulang. Di dalam baterai ini, ion litium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang.

Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya, berbeda dengan litium metalik yang dipakai di baterai litium non-isi ulang.

Baterai ion litium umumnya dijumpai pada barang-barang elektronik konsumen. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, LIB juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi LIB tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan intrinsik.

Karakteristik kimiawi, kinerja, biaya, dan keselamatan jenis-jenis LIB cenderung bervariasi. Barang elektronik genggam biasanya memakai LIB berbasis litium kobalt oksida (LCO) yang memiliki kepadatan energi tinggi, namun juga memiliki bahaya keselamatan yang cukup terkenal, terutama ketika rusak. Litium besi fosfat (LFP), litium mangan oksida (LMO), dan litium nikel mangan kobalt oksida (NMC) memiliki kepadatan energi yang lebih rendah, tetapi hidup lebih lama dan keselamatannya lebih kuat. Bahan kimia ini banyak dipakai oleh peralatan listrik, perlengkapan medis, dan lain-lain. NMC adalah pesaing utama di industri otomotif. Litium nikel kobalt alumunium oksida (NCA) dan litium titanat (LTO) adalah desain khusus yang ditujukan pada kegunaan-kegunaan tertentu.

### **2.2.2. Prinsip Kerja Baterai Lithium-Ion (Albarri, 2013)**

Baterai lithium-ion memiliki kemampuan penyimpanan energi tinggi per satuan volume. Energi yang tersimpan merupakan jenis energi elektrokimia. Energi elektrokimia merupakan jenis energi listrik yang berasal dari reaksi kimia yang dalam hal ini terjadi di dalam baterai.

Agar bisa berfungsi, setiap sel elektrokimia harus memiliki dua elemen penting yaitu elektroda dan elektrolit. Elektroda terdiri dari dua jenis yaitu anoda dan katoda yang menghantarkan energi listrik (ion). Anoda dihubungkan ke terminal negatif baterai sementara katoda dihubungkan ke terminal positif baterai.

Elektroda terendam dalam elektrolit yang bertindak sebagai medium cair untuk pergerakan ion. Elektrolit juga bertindak sebagai buffer dan berfungsi

membantu reaksi elektrokimia dalam baterai. Pergerakan elektron dalam elektrolit dan di antara elektroda akan menghasilkan arus listrik.

Untuk cara kerja baterai lithium-Ion Anoda dan katoda baterai lithium-ion terbuat dari karbon dan oksida lithium. Sedangkan elektrolit terbuat dari garam lithium yang dilarutkan dalam pelarut organik. Bahan pembuat anoda sebagian besar merupakan grafit sedangkan katoda terbuat dari salah satu bahan berikut: lithium kobalt oksida ( $\text{LiCoO}_2$ ), lithium besi fosfat ( $\text{LiFePO}_4$ ), atau lithium oksida mangan ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ).

Elektrolit yang umum digunakan adalah garam lithium seperti lithium hexafluorophosphate ( $\text{LiPF}_6$ ), lithium tetrafluoroborate ( $\text{LiBF}_4$ ), dan lithium perklorat ( $\text{LiClO}_4$ ) yang dilarutkan dalam pelarut organik seperti etilen karbonat, dimetil karbonat, dan dietil karbonat.

Bahan Baterai Lithium ini secara jenis penggunaannya terbagi lagi menjadi 2 bagian, yaitu Unrechargeable Battery dan Rechargeable Battery

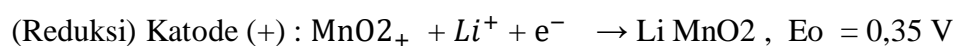
a. Sel Primer / Un-rechargeable Battery (Litium Mangan Oksida)

Baterai ini tidak dapat diisi ulang, karena logam litium logam reaktif yang dapat meledak, terutama pada suhu yang relatif tinggi. Baterai ini menggunakan logam litium sebagai anoda dan  $\text{MnO}_2$  sebagai katoda, dengan garam litium (misalnya  $\text{LiClO}_4$ ) sebagai elektrolit dalam pelarut bebas air.

- Cara kerja :

Pada anode Litium menerima elektron dari katode, dan menghasilkan potensial reduksi sebesar -3,05 volt. Oleh karena kenegatifannya inilah, *litium dimanfaatkan sebagai anode*. Kemudian direaksikan dengan Mangan Oksida yang berpotensi reduksi +0,35 volt. Agar reaksi terjadi secara spontan, mangan oksida ditempatkan sebagai katode. Terjadilah proses antara anoda dan katoda akan mengalir arus, yaitu dari kutub positif (anoda) ke kutub negatif (katoda). Sedangkan elektron akan mengalir dari katoda menuju anoda. Proses ini adalah proses yang terjadi pada sel volta, dimana reaksi kimia dapat menghasilkan energi listrik.

Berikut adalah reaksinya (Jika pada kondisi standar) :



Reaksi Sel :  $\text{Li} + \text{MnO}_2 \rightarrow \text{Li MnO}_2$  ,  $E_{\text{sel}} = 3,40 \text{ V}$

Berdasarkan hasil reaksi tersebut, baterai Litium menghasilkan potensial 3,4 volt. Namun pada saat digunakan turun menjadi 2,8 volt. Penurunan potensial seperti ini mungkin saja terjadi seiring lamanya baterai digunakan karena electron terus mengalir dan sel tidak pada kondisi standar, sesuai dengan percobaan *Walther Nerst* pada tahun 1889. (Kondisi standar 25°C, tekanan 1 atm, dan konsentrasi 1M).

b. Sel Sekunder / *Rechargeable Battery* (Baterai Litium Kobalt & Mangan)

Ini adalah jenis baterai isi ulang dimana ion litium bergerak antara anoda dan katoda. Pada sel sekunder, anode dan katode bereaksi secara kimia. Namun sel dapat diisi ulang dengan proses elektrolisis untuk mengembalikan anode dan katode ke kondisi awal. Ion litium sebagai anoda, bukan logam litium, maka reaksi sel didalamnya bukanlah reaksi redoks. Melainkan hanya pergerakan ion litium melalui elektrolit dari satu elektrode ke elektrode lainnya. Jenis baterai ini umum digunakan dalam peralatan elektronik portabel, karena tidak memiliki efek memori, dan daya hilang yang lambat sehingga tidak butuh perlakuan apapun jika tidak digunakan dan dapat menyimpan cadangan energi yang relatif besar dalam waktu yang relatif lama. Terbagi atas dua tipe, yaitu mangan (Mn) dan kobalt (Co).

- Cara Kerja :

Pada saat digunakan berkerja sebagai sel volta: Lithium akan mengantarkan elektron dari anoda menuju alat yang membutuhkan elektron seperti kapasitor dan *processor* di handphone atau laptop kemudian berakhir di katoda. Sedangkan proton dari katoda masuk menembus separator diantara anoda dan katoda (proses interkalasi). Proses ini berlangsung terus menerus hingga kapasitas penggunaan baterai habis (ditunjukkan dengan garis atau persentase kapasitas baterai di layar handphone atau laptop).

Pada saat di-charge dia bekerja sebagai elektrolisis: Sedangkan bila baterai diisi ulang atau recharge maka elektron akan kembali dari katoda ke anoda melalui alat pengisi ulang (charger) dan dengan dibantu arus

yang masuk dari charger, proton akan kembali menuju katoda. Sehingga kondisi kembali menjad seperti semula.

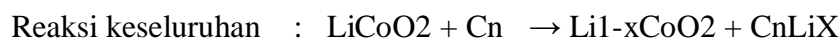
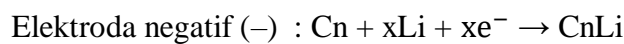
Berikut adalah reaksinya saat pemakaian dan pengisian ulang energi listrik :

a) Discharging (pemakaian) :



$E_{\text{sel}} = 3.70\text{V}$

b) Sebaliknya Charging (pengiisian ulang) :



Dimana  $x$  menyatakan jumlah ion litium yang berpindah dari  $\text{LiCoO}_2$  ke grafit.

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya bahwa baterai Li-ion terbagi atas dua tipe, yaitu Mangan (Mn) dan Kobalt (Co). Untuk tipe mangan, sel terdiri dari anode  $\text{Li}_{1-x}\text{Mn}_2\text{O}_4$  dan katode grafit. Elektrolitnya adalah garam Li yang larut dalam pelarut organik. Reaksinya :



Untuk tipe kobalt, sel terdiri dari anode  $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$  dan katode grafit. Elektrolitnya adalah garam Li yang larut dalam pelarut organik. Reaksinya :



dimana  $x$  menyatakan jumlah ion litium yang berpindah dari  $\text{LiCoO}_2$  ke grafit.

Litium ion kobalt menghasilkan potensial yang relatif besar dibandingkan dengan litium ion mangan. Hal ini dikarenakan pada deret volta, kobalt bersifat lebih tereduksi dibanding mangan, sehingga menghasilkan beda potensial sel yang relative besar terhadap litium dibandingkan dengan mangan.

### 2.2.3. Karakteristik Baterai Lithium ion NCR1860B

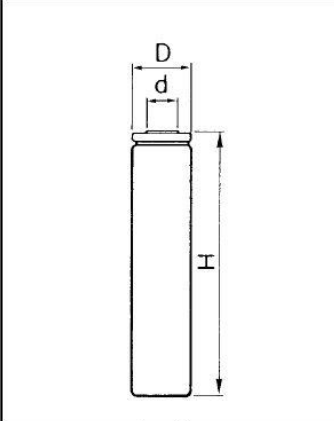
Gambar 2.1 menunjukkan karakteristik baterai lithium ion NCR18650B. Dimana kapasitas baterai 3200 mAh dan *nominal voltage* 3,6 V.

Specifications		
Nominal Capacity (at 25°C)	Min.3250mAh	
	Typ.3350mAh	
Nominal Voltage	3.6V	
Charging Method	Constant Current -Constant Voltage	
Charging Voltage	4.2V	
Charging Current	Std.1625mA	
Charging Time	4.0hrs.	
Ambient Temperature	Charge	+10~+45°C
	Discharge	-20~+60°C
	Storage	-20~+50°C
Weight (Max.)	47.5g	
Dimensions (Max.) Maximum size without tube	(D)	18.25mm
	(H)	65.10mm
Volumetric Energy Density	676Wh/l	
Gravimetric Energy Density	243Wh/kg	

Dimensions(Typ.) of Bare Cell	H	64.93mm
	D	18.2mm
	d	7.9mm

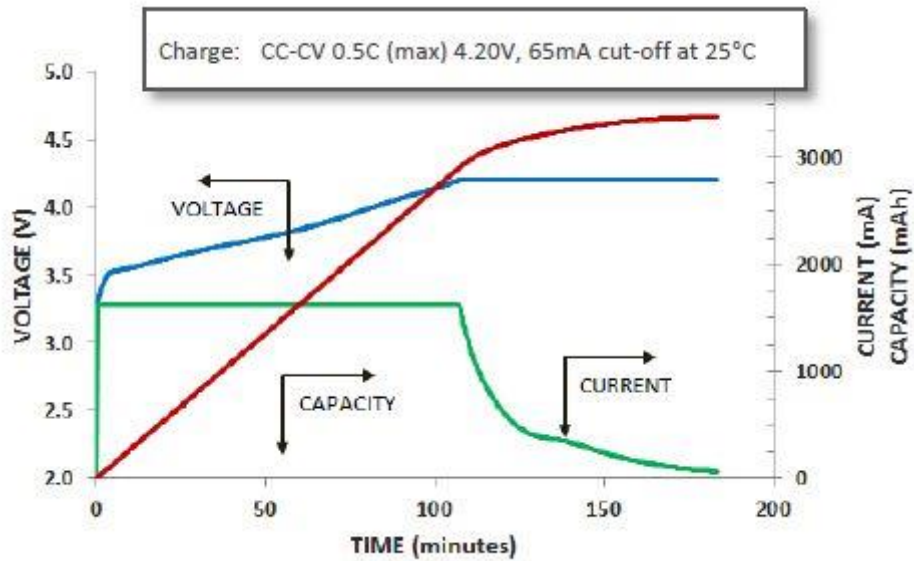
Discharged State after Assembling



**Gambar 2.1 Karakteristik Baterai Lithium-ion NCR18650B berdasarkan standar (Panasonic, 2012)**

### 2.2.4. Proses *Charge* dengan Arus Konstan dan Tegangan Konstan

Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik *charge* dengan arus konstan dan tegangan konstan. Dimana arus konstan terjadi ketika saat pengisian dengan mengatur besar kecilnya tegangan yang menuju ke baterai. Kemudian ketika baterai terisi 80 %, maka beralih ke tegangan konstan. Sehingga pada saat tegangan konstan arus yang awalnya konstan akan perlahan turun. Lama waktu untuk proses pengisian ditentukan dari besarnya arus yang di alirkan.

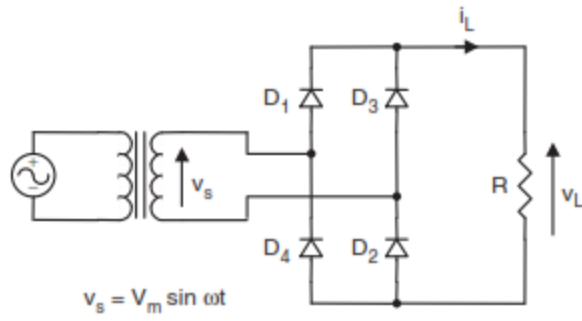


**Gambar 2.2** Karakteristik *Charger* dengan arus konstan dan tegangan konstan baterai Lithium-ion NCR18650B (Panasonic, 2012)

### 2.3. Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa (Rectifier Full Bridge) (Saputra, 2009)

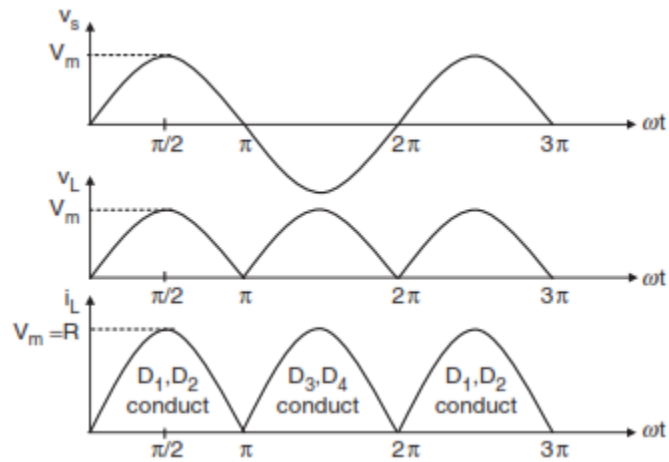
Ada dua tipe penyearah gelombang penuh 1 fasa, yaitu penyearah gelombang penuh dengan transformator center-tapped (CT) dan penyearah gelombang penuh dengan metoda jembatan. Pada tugas akhir ini penyearah yang akan digunakan adalah penyearah gelombang penuh dengan metode jembatan, penyearah dengan metoda jembatan memiliki 4 dioda dan dapat menghasilkan gelombang penuh searah tanpa menggunakan transformator *center-tapped*. Penyearah gelombang penuh dapat dilihat sebagai kombinasi dari dua penyearah setengah gelombang yang bekerja bergantian untuk setiap setengah gelombang dari gelombang input. Pada Gambar 2.3 (a) dan Gambar 2.3 (b) menunjukkan gambar rangkaian dan bentuk gelombang penyearah gelombang penuh.





**Gambar 2.3 Rangkaian penyearah gelombang penuh**

Selama cycle positif arus mengalir menuju beban melewati dioda D1 dan D2 (ON), saat cycle negatif arus akan mengalir melewati D3 dan D4 (ON). Gelombang sinyal arus dan tegangan penyearah jembatan penuh akan ditunjukkan pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4 Gelombang output penyearah**

Sumber tegangan berupa sinyal sinus  $V_s = V_{in} \sin \omega t$ . Nilai rata-rata  $V_{dc}$  dapat dicari dengan membagi luasan (diatas sumbu datar dalam periode  $T$ ) dengan  $t$ , dimana  $\omega = 2\pi f$ .  $T = 2\pi$ .

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \omega t dt \quad (2.1)$$

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_0^T V_m \sin 2\pi f t dt \quad (2.2)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \frac{2\pi}{T} t dt \quad (2.3)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \frac{2\pi}{2\pi} t dt \quad (2.4)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin t dt \quad (2.5)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{T} [-V_m \cos t]_0^{\pi} \quad (2.6)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} [(-V_m \cos \pi) - (V_m \cos 0)] \quad (2.7)$$

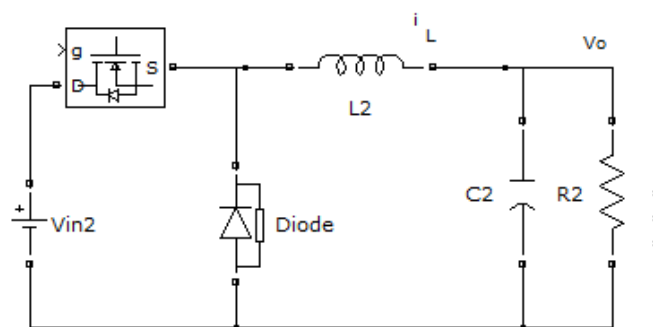
$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} [V_m + V_m] \quad (2.8)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} [2V_m] \quad (2.9)$$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \quad (2.10)$$

#### 2.4. Buck Konverter

*Buck converter* adalah konverter yang menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukannya. Tegangan keluaran yang dihasilkan mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan masukannya. *Buck converter* biasa disebut juga sebagai *step-down converter*. (Tohir, 2016). Gambar 2.5 berikut merupakan rangkaian dari *buck converter*:



**Gambar 2.5 Circuit diagram Buck Konverter**  
(Tohir, 2016)

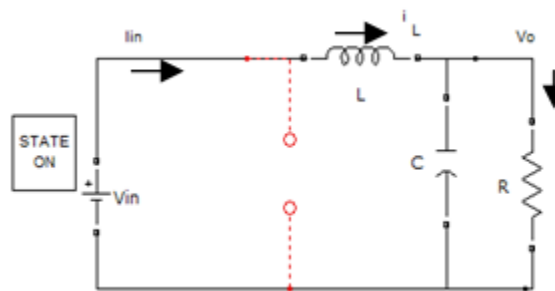
Pada dasarnya, *buck converter* yang merupakan salah satu jenis dari topologi dari *switching power supply* terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian *power* dan bagian kontrol. Bagian *power* berfungsi untuk konversi tegangan, termasuk komponen-komponen di dalamnya, seperti, *switch* dan *filter output*. Bagian kontrol berfungsi untuk mengontrol *state ON-OFF* dari *switch* yang terdapat di dalam rangkaian. *Buck converter* dapat dioperasikan dalam 2 mode, yaitu, *continuous conduction mode* dan *discontinuous conduction mode*. Di dalam *continuous conduction mode*, arus akan terus mengalir melewati induktor atau dengan kata lain arus pada induktor tidak akan pernah mencapai nilai nol (0).

Di dalam *discontinuous conduction mode*, arus yang mengalir melewati induktor akan bernilai nol (0) untuk rentang waktu tertentu. Nilai induktor yang dipilih akan menentukan mode yang akan digunakan.

#### 2.4.1 Prinsip kerja Buck konverter

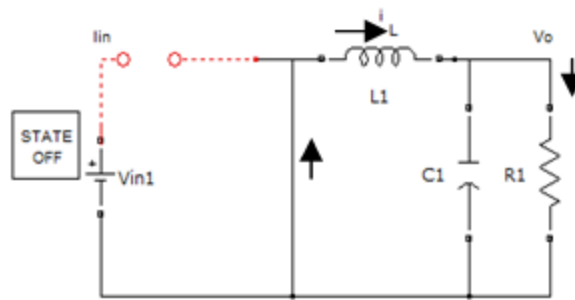
Di dalam menganalisa prinsip kerja *buck converter*, terdapat 2 *state*, yaitu, *state ON* dan *state OFF*. Ketika pada *state ON* atau saklar pada kondisi ON, arus sumber mengalir melalui induktor L menuju *output* beban kapasitor dan resistor hingga tegangan keluaran mendekati tegangan masukan. Ketika pada *state OFF* atau saklar pada kondisi OFF, terjadi pembalikan polaritas sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir terbalik berdasar tegangan yang tersimpan pada kapasitor hingga terjadi pengurangan pada kapasitor. Proses pengisian dan pengosongan inilah yang menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih rendah dari tegangan masukannya. (Tohir, 2016)

Untuk mempermudah dalam menganalisa rangkaian *buck*, Gambar 2.6 dan 2.7 berikut ini merupakan *state* dari rangkaian *buck* pada saat *state ON* dan *state OFF*:



Gambar 2.6 Rangkain pada saat state ON

(Tohir, 2016)



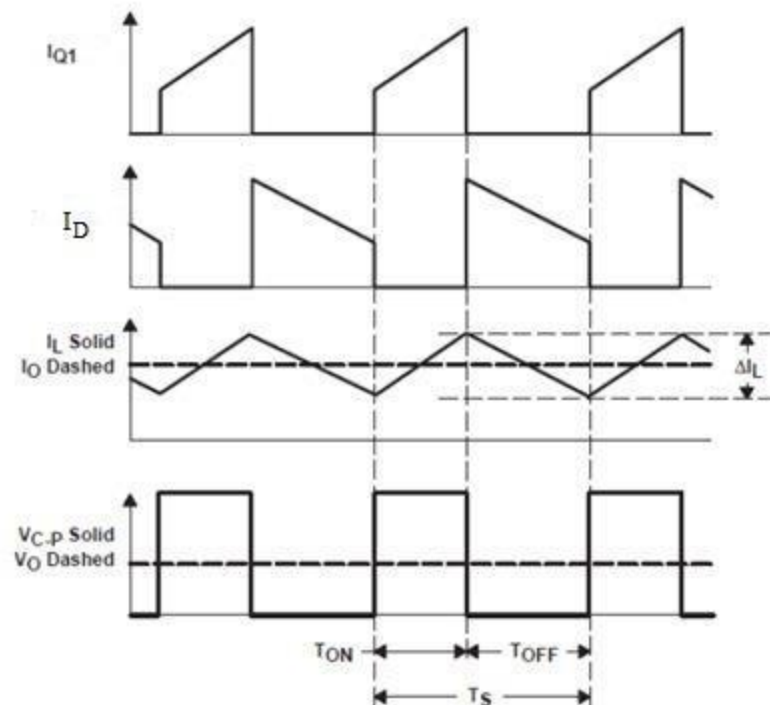
**Gambar 2.7** Rangkain pada saat state OFF  
(Tohir, 2016)

Secara matematika, waktu dari *state* ON dan *state* OFF dapat ditulis seperti berikut:

$$T_{ON} = D \times T_s \quad (2.11)$$

$$T_{OFF} = (1 - D) \times T_s \quad (2.12)$$

Bentuk gelombang dari rangkaian Gambar 2.8 untuk komponen Q1 dan ID diperlihatkan dalam gambar berikut ini:



**Gambar 2.8** Bentuk Gelombang Q1 dan ID  
(Rashid, 2001)

### State ON

Ketika berada pada *state* ON, Q1 akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (konduksi) selama interval waktu  $dt$ , maka arus dari tegangan sumber  $V_{in}$  akan mengalir melalui induktor  $L$ , beban dan kembali lagi ke sumber. Karena tegangan yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor meningkat secara *linier* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.

Dalam kondisi saklar menutup ini dapat diturunkan persamaan sebagai berikut :

$$V_{in} = V_L + V_O \text{ dan } V_L = V_{in} - V_O \quad (2.13)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_{in} - V_O \quad (2.14)$$

$$L di = (V_{in} - V_O) dt \quad (2.15)$$

Karena lama waktu  $dt$  adalah selama saklar pada kondisi menutup atau ON, maka:

$$L di = (V_{in} - V_O) t_{on} \quad (2.16)$$

$$di = \left(\frac{V_{in}-V_O}{L}\right) t_{on} \quad (2.17)$$

### State OFF

Ketika berada pada *state* OFF, Q1 menjadi terbuka mengakibatkan arus dari sumber *input* tidak dapat mengalir melewati mosfet ini. Sehingga sumber dari tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda  $D$  menjadi aktif. Arus mengalir dari induktor  $L$  ke beban melalui dioda dan kembali menuju induktor  $L$ . Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil dibandingkan saat *state* ON dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara *linier* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

Pada kondisi saklar membuka, dapat diturunkan persamaan sebagai berikut :

$$V_L = V_O \quad (2.18)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_O \quad (2.19)$$

$$L di = V_O dt \quad (2.20)$$

Karena lama waktu  $dt$  adalah selama saklar pada kondisi membuka atau OFF, maka :

$$L di = V_o t_{off} \quad (2.21)$$

$$di = \left(\frac{V_o}{L}\right) t_{off} \quad (2.22)$$

Dengan menggabungkan persamaan 2.16 dan 2.21 akan diperoleh hubungan antara tegangan masukan dan keluaran, sebagai berikut:

$$V_o = V_{In} \times D \quad (2.23)$$

Dimana :

$V_o$  = Tegangan keluaran

$V_{In}$  = Tegangan masukan

$D$  = *Duty cycle*

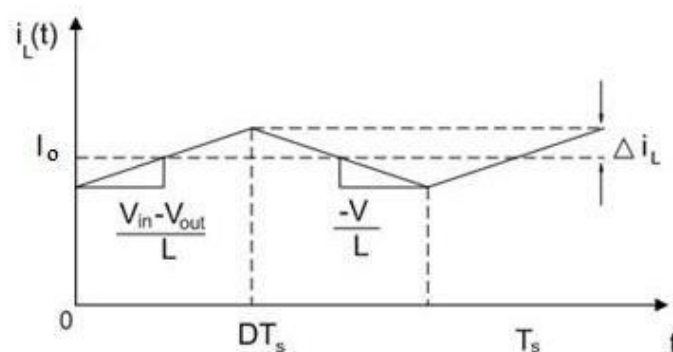
Jika menggunakan asumsi bahwa rangkaian tidak mengalami rugi-rugi maka dapat diturunkan sebagai berikut:

$$V_{In} I_{In} = V_o I_o = D V_{In} I_o \quad (2.24)$$

Sehingga arus masukan rata-rata adalah :

$$I_{In} = D I_o \quad (2.25)$$

Agar sistem beroperasi pada daerah yang kontinyu maka arus induktor harus tetap kontinyu dalam satu periode. Gambar 2.9 menunjukkan arus dari induktor selama satu periode dalam keadaan tunak. Pada sistem *buck converter*, arus rata-rata induktor  $I_L$  dalam kondisi tunak adalah sama dengan arus beban  $I_o$ . Gambar 2.9 menunjukkan bahwa arus induktor berada pada sekitar arus rata-ratanya dengan nilai arus maksimum sebesar  $I_o + \Delta I_L$  dan arus minimum  $I_o - \Delta I_L$ .



**Gambar 2.9 Arus induktor**

**(Rashid, 2001)**

Dalam menentukan besarnya nilai induktor dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta I_L = \frac{V_{In}D(1-D)}{fL} \quad (2.26)$$

$$L = \frac{V_{In}D(1-D)}{f\Delta I_L} \quad (2.27)$$

Dimana:

L = Nilai induktor (induktansi)

$V_{In}$  = Tegangan masukan

D = *Duty cycle*

$\Delta I_L$  = *Ripple* arus

f = Frekuensi

Tegangan keluaran sistem pada kenyataannya tidak dapat bernilai konstan secara sempurna. Hal ini dikarenakan kapasitor yang digunakan akan terus melakukan pengisian dan pelepasan muatan. Pada tegangan keluaran sistem  $V_o$  akan terdapat *ripple* tegangan ( $\Delta V$ ). Dalam penentuan besarnya *ripple* tegangan dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$\Delta V = \frac{V_{In}D(1-D)}{8LCf^2} \quad (2.28)$$

Sehingga besarnya nilai kapasitor adalah :

$$C = \frac{V_{In}D(1-D)}{8L\Delta V f^2} \quad (2.29)$$

Dimana:

C = Nilai Kapasitor

$\Delta V$  = *Ripple* tegangan

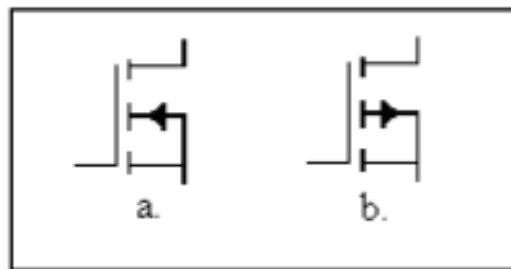
## 2.5. MOSFET (Saputra, 2017)

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) adalah salah satu keluarga dari transistor jenis FET yang memiliki 3 buah kaki yaitu drain, source dan gate sama seperti JFET. Namun perbedaannya gate terisolasi oleh suatu bahan oksida, gate sendiri terbuat dari bahan metal oleh karena itu transistor ini dinamakan metal oxide. MOSFET adalah suatu alat yang dikendalikan oleh tegangan dan hanya membutuhkan arus masukan yang kecil,

dalam hal ini tegangan yang dimaksud adalah tegangan VGS (tegangan antara gate dan source) untuk mengendalikan arus drain.

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbang dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis.

Transistor MOSFET tipe Enhancement tidak memiliki saluran antara drain dan sourcenya karena lapisan bulk meluas dengan lapisan SiO<sub>2</sub> pada terminal gate. Gambar 2.10 menunjukkan simbol transistor mosfet mode enhancement, Transistor mode ini terdiri dari tipe-N dan tipe-P.

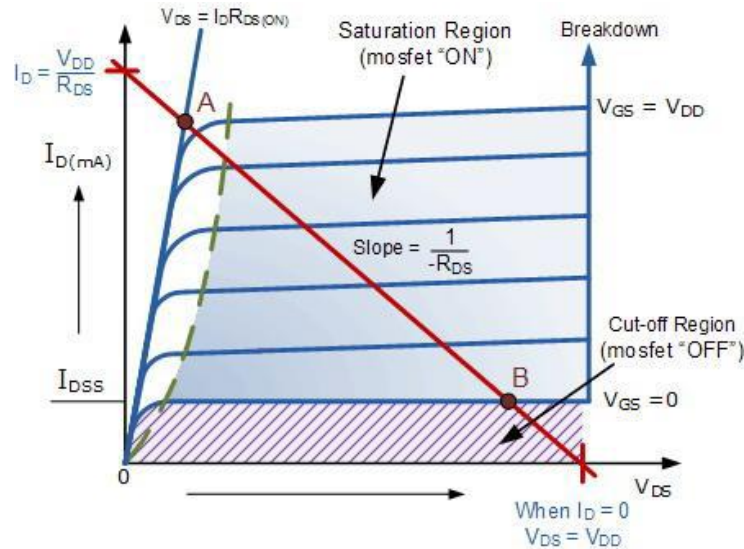


**Gambar 2.10 Simbol Transistor MOSFET Mode Enhancement**  
(a) . *N-Channel Enhancement* (b). *P-channel Enhancement*

Transistor MOSFET mode complementary ini mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran tipe-n dan tipe-p secara bergantian sesuai dengan tegangan yang dapat dimasukkan pada gerbangnya (*gate*).

Untuk melihat bentuk kerja dari MOSFET itu sendiri dapat melihat kurva karakteristik MOSFET. Berikut dalam Gambar 2.11 menunjukkan kurva karakteristik MOSFET.





**Gambar 2.11 Kurva Karakteristik MOSFET**

Pada daerah Cut-Off MOSFET tidak mendapatkan tegangan input ( $V_{in} = 0V$ ) sehingga tidak ada arus drain  $I_D$  yang mengalir. Kondisi ini akan membuat tegangan  $V_{ds} = V_{dd}$ . Dengan beberapa kondisi diatas maka pada daerah cut-off ini MOSFET dikatakan OFF (Full-Off). Kondisi cut-off ini dapat diperoleh dengan menghubungkan jalur input (gate) ke ground, sehingga tidak ada tegangan input yang masuk ke rangkaian saklar MOSFET.

Karakteristik MOSFET pada daerah Cut-Off antara lain sebagai berikut.

1. Input gate tidak mendapat tegangan bias karena terhubung ke ground (0V).
2. Tegangan gate lebih rendah dari tegangan treshold ( $V_{gs} < V_{th}$ )
3. MOSFET OFF (Fully-Off) pada daerah cut-off ini.
4. Tidak arus drain yang mengalir pada MOSFET
5. Tegangan output  $V_{out} = V_{ds} = V_{dd}$
6. Pada daerah cut-off MOSFET dalam kondisi open circuit.

Pada daerah saturasi MOSFET mendapatkan bias input ( $V_{gs}$ ) secara maksimum sehingga arus drain pada MOSFET juga akan maksimum dan membuat tegangan  $V_{ds} = 0V$ . Pada kondisi saturasi ini MOSFET dapat dikatakan dalam kondisi ON secara penuh (Fully-ON).

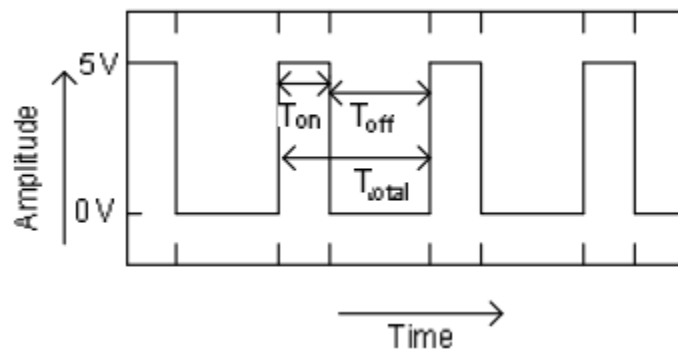
Karakteristik MOSFET pada kondisi saturasi antar lain adalah :

1. Tegangan input gate ( $V_{gs}$ ) tinggi.
2. Tegangan input gate ( $V_{gs}$ ) lebih tinggi dari tegangan *threshold* ( $V_{gs} > V_{th}$ )

3. MOSFET ON (Fully-ON) pada daerah Saturasi.
4. Tegangan drain dan source ideal ( $V_{ds}$ ) pada daerah saturasi adalah 0V ( $V_{ds} = 0V$ ).
5. Resistansi drain dan source sangat rendah ( $R_{ds} < 0,1 \text{ Ohm}$ )
6. Tegangan output  $V_{out} = V_{ds} = 0,2V (R_{ds}.I_d)$ .
7. MOSFET dianalogikan sebagai saklar kondisi tertutup

## 2.6. Pulsa Width Modulation (PWM) (Sidiq, 2015)

Modulasi lebar pulsa (PWM) diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata gelombang tersebut. Gambar 2.12 menunjukkan bentuk gelombang pulsa dengan kondisi high 5V dan low 0V.



**Gambar 2.12 Bentuk gelombang kotak (pulsa) dengan kondisi *high* 5V dan *low* 0V**

$T_{on}$  adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (baca: *high* atau 1) dan,  $T_{off}$  adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (baca: *low* atau 0). Anggap  $T_{total}$  adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara  $T_{on}$  dengan  $T_{off}$ , biasa dikenal dengan istilah “periode satu gelombang”.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.30)$$

Siklus kerja atau *duty cycle* sebuah gelombang di definisikan sebagai,

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2.31)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

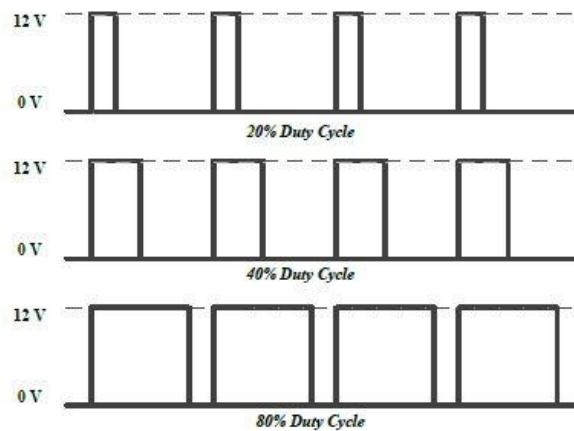
$$V_{out} = D \times V_{In} \quad (2.32)$$

Sehingga :

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{In} \quad (2.33)$$

Rumus diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan keluaran dapat diubah ubah secara langsung dengan mengubah nilai  $T_{on}$ . Apabila  $T_{on}$  adalah 0,  $V_{out}$  juga akan 0. Apabila  $T_{on}$  adalah  $T_{total}$  maka  $V_{out}$  adalah  $V_{in}$  atau katakanlah nilai maksimumnya.

PWM bekerja sebagai *switching power supply* untuk mengontrol *on* dan *off*. Tegangan dc dikonvert menjadi sinyal kotak bolak balik, saat *on* mendekati tegangan puncak dan saat *off* menjadi nol (0) volt. Jika frekuensi *switching* cukup tinggi maka pengisian baterai yang dikendalikan akan semakin sesuai dengan yang diharapkan. Mengatur *duty cycle* sinyal (modulasi lebar pulsa sinyal disebabkan oleh PWM) terlihat pada Gambar 2.13 dimana sinyal referensi adalah sinyal tegangan dc yang dikonversi oleh sinyal gergaji dan menghasilkan sinyal kotak.

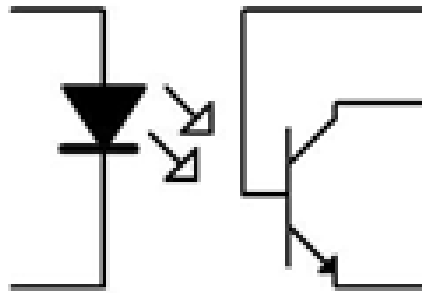


**Gambar 2.13** Sinyal referensi (sinyal tegangan DC)

Informasi analog dapat dikirimkan dengan menggunakan pulsa-pulsa tegangan atau pulsa-pulsa arus. Salah satu teknik modulasi yang sering digunakan adalah teknik modulasi durasi atau lebar waktu tunda positif ataupun waktu tunda negatif pulsa-pulsa persegi tersebut. Untuk membangkitkan sinyal PWM adalah dengan menggunakan fungsi *timer/counter* yang dibandingkan nilainya dengan sebuah register tertentu.

## 2.7. Driver Mosfet (Sidiq, 2015)

Fungsi utama rangkaian *driver* mosfet adalah sebagai pemisah antara rangkaian power dengan rangkaian kontrol atau isolator dari rangkaian tegangan rendah ke rangkaian tegangan tinggi karena terdapat optocoupler. Konfigurasi dari optocoupler dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2.14 IC Optocoupler

Prinsip kerja dari optocoupler adalah :

- Apabila kaki 1 pada optocoupler mendapat logika *high* 1 maka LED akan *on* sehingga akan memberi *trigger* ke basis photodiode, akibatnya photodiode *on* dan keluarannya akan berlogika *low*.
- Apabila kaki 1 pada optocoupler mendapat logika *high* 0 maka LED akan *off* sehingga tidak ada *trigger* ke basis photodiode, akibatnya photodiode *off* dan keluarannya akan berlogika *high*. Selain itu, berfungsi juga sebagai penguat sinyal pada *gate* mosfet dengan menggunakan fungsi transistor BC547 yang disusun secara bertingkat.

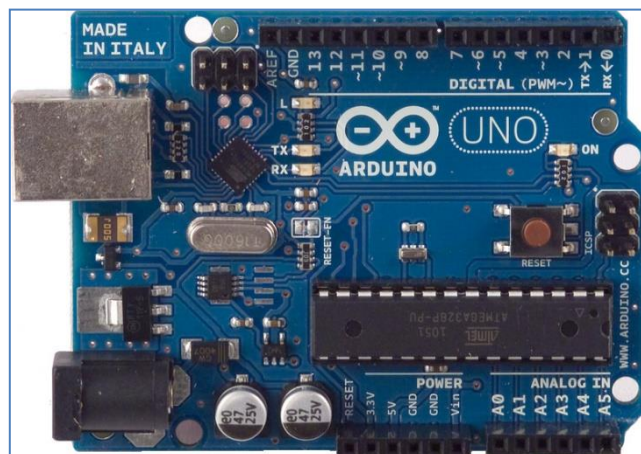
## 2.8. Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler Arduino Uno adalah suatu mikrokontroler berbasis Atmega328. Board ini memiliki 14 digital input/ output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, dan jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung oleh komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya.

Arduino Uno menggunakan Atmega328 yang diprogram sebagai USB *to serial converter* untuk komunikasi serial ke komputer melalui port USB. Tampak atas Arduino Uno dapat dilihat gambar 2.15 Adapun data teknis *board* Arduino Uno dapat dilihat pada table 2.2 berikut.

**Tabel 2.2 Fitur-fitur Mikrokontroler Arduino Uno**

Fitur-fitur	
Mikrokontroler	Atmega328
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (recommended)	7-12 V
Tegangan Input (limit)	6-20 V
Pin input/output	14 (6 diantaranya pin PWM)
Arus DC per pin I/O	40mA
Arus DC untuk pin 3,3V	50mA
Flash memori	32KB dengan 0,5 KB digunakan untuk bootloader
SRAM	2KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan	16MHz



**Gambar 2.15 Arduino uno board**  
(Arduino, 2005)