



## BAB II

### LANDASAN TEORI



#### II.1 Definisi Motor DC

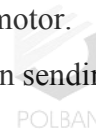
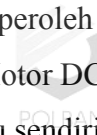


Motor arus searah (DC) adalah suatu mesin yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dimana energi gerak tersebut berupa putaran dari motor.



Ditinjau dari segi sumber arus penguat magnetnya motor arus searah dapat dibedakan atas :

1. Motor DC penguatan terpisah, bila arus penguat medan rotor dan medan stator diperoleh dari luar motor.
2. Motor DC penguatan sendiri, bila arus penguat magnet berasal dari luar motor itu sendiri.

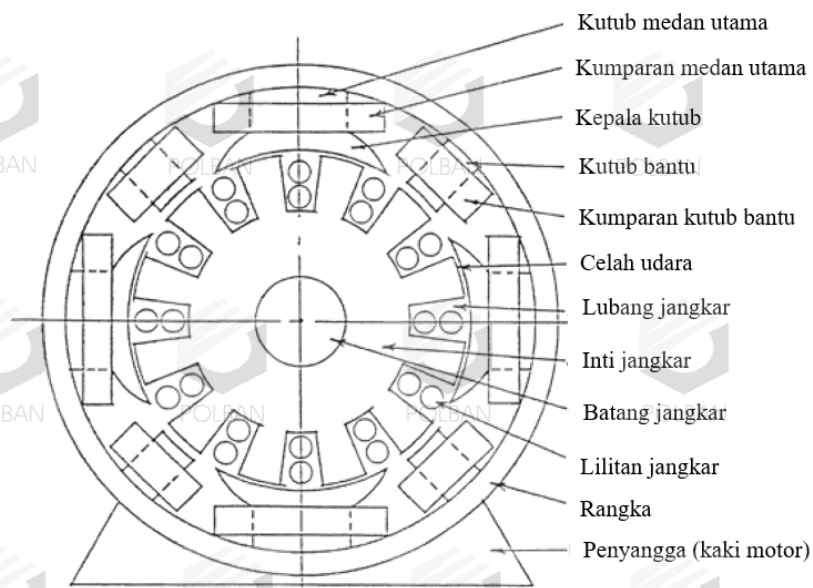


Motor DC dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Motor DC penguatan shunt
2. Motor DC penguatan seri
3. Motor arus searah kompon panjang
  - Motor DC kompon panjang kumulatif
  - Motor DC kompon panjang diferensial
4. Motor DC kompon pendek
  - Motor DC kompon pendek kumulatif
  - Motor DC kompon pendek diferensial



## II.2 Kontruksi Motor DC



Gambar II-1 Kontruksi motor arus searah.

(Fitzgerald)

### II.2.1 Badan Motor (Rangka)

Bagian ini secara umum mempunyai dua fungsi :

- Merupakan pendukung mekanik untuk mesin secara keseluruhan.
- Untuk membawa fluks magnetik yang dihasilkan oleh kutub – kutub mesin.

Untuk mesin kecil, biasanya rangkanya terbuat dari besi tuang (*cast iron*), tetapi untuk mesin – mesin besar umumnya terbuat dari baja tuang (*cast steel*), atau lembaran baja (*rolled steel*). Rangka ini pada bagian dalam dilaminasi untuk mengurangi rugi – rugi inti. Rangka motor selain kuat secara mekanik juga harus memiliki permeabilitas yang tinggi supaya tidak dapat tembus air.

### II.2.2 Kutub Medan

Medan penguat atau medan magnet terdiri atas inti kutub dan sepatu kutub.

Kutub sepatu berfungsi untuk :

- Menyebarkan fluks pada celah udara dan juga karena merupakan bidang lebar maka akan mengurangi reluktansi jalur magnet.
- Sebagai pendukung secara mekanik untuk kumparan penguat atau kumparan medan

Inti kutub terbuat dari lembaran – lembaran besi tuang atau baja tuang yang terisolasi satu sama lain. Sepatu kutub dilaminasi dan dibaut ke rangka mesin. Sebagaimana diketahui bahwa fluks magnet yang terdapat pada motor arus searah dihasilkan oleh kutub – kutub magnet buatan dengan prinsip elektromagnetik. Kumpanan kutub ini biasanya terbuat dari kawat tembaga (berbentuk bulat atau strip/persegi). Kumpanan medan berfungsi untuk mengalirkan arus listrik untuk terjadinya proses elektromagnetik.

### II.2.3 Inti Jangkar

Pada motor arus searah ini jangkar yang digunakan biasanya berbentuk silinder yang diberi alur – alur pada permukaannya untuk tempat melilitnya kumpanan – kumpanan tempat terbentuknya ggl induksi. Inti jangkar ini terbuat dari bahan *ferromagnetik* dengan maksud supaya komponen – komponen ( lilitan jangkar ) berada dalam daerah yang induksi magnetnya besar. Hal ini dilakukan supaya ggl induksi dapat bertambah besar. Jangkar terbuat dari bahan – bahan berlapis – lapis tipis untuk mengurangi panas yang terbentuk karena adanya arus eddy.

### II.2.4 Sikat

Sikat adalah jembatan bagi aliran arus jangkar ke lilitan jangkar. Dimana permukaan sikat ditekan ke permukaan segmen komutator untuk menyalurkan arus listrik. Sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Sikat-sikat terbuat dari bahan dengan tingkat kekerasan yang bermacam – macam dan dalam beberapa hal dibuat dari campuran karbon dan logam tembaga. Sikat harus lebih lunak dari pada segmen – segmen komutator supaya yang terjadi antara segmen – segmen komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator.

### II.2.5 Kumpanan Medan

Kumpanan medan adalah susunan konduktor yang dibelitkan pada inti kutub. Dimana konduktor tersebut terbuat dari kawat tembaga yang berbentuk bulat ataupun persegi. Rangkaian medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi utama dibentuk dari kumpanan pada setiap kutub. Pada aplikasinya rangkaian medan dapat dihubungkan dengan kumpanan jangkar baik seri maupun paralel dan juga dihubungkan tersendiri langsung kepada sumber tegangan sesuai dengan jenis penguatan pada motor.

### II.2.6 Kumputan Jangkar

Kumputan jangkar pada motor arus searah merupakan tempat dibangkitkannya ggl induksi. Pada motor arus searah penguatan kompon panjang kumputan medan serinya diserikan terhadap kumputan jangkar, sedangkan pada motor arus searah penguatan kompon pendek kumputan medan serinya dipararelkan terhadap kumputan jangkar. Jenis-jenis kontruksi kumputan jangkar pada rotor ada tiga macam yaitu :

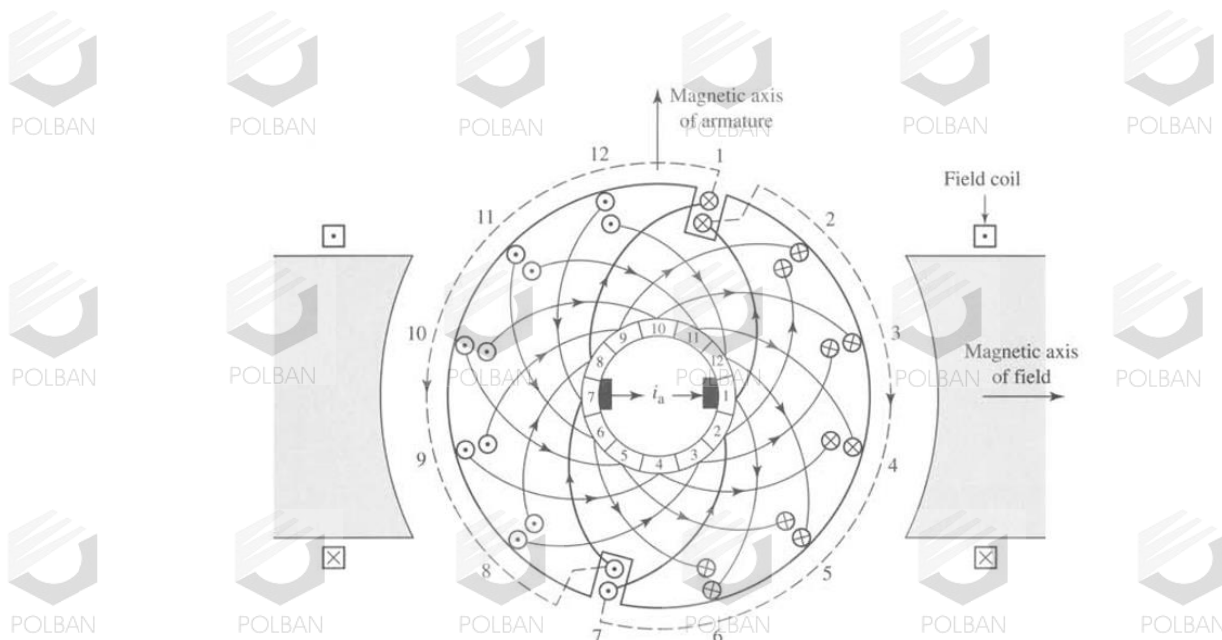
1. Kumputan jerat (*lap winding*)
2. Kumputan gelombang (*wave winding*)
3. Kumputan zig-zag (*frog-leg winding*)

### II.2.7 Celah Udara

Celah udara merupakan ruang atau celah antara permukaan jangkar dengan permukaan sepatu kutub yang meyebabkan jangkar tidak bergesekan dengan sepatu kutub. Fungsi dari celah udara adalah sebagai tempat mengalirkan fuksi yang dihasilkan oleh kutub – kutub medan.

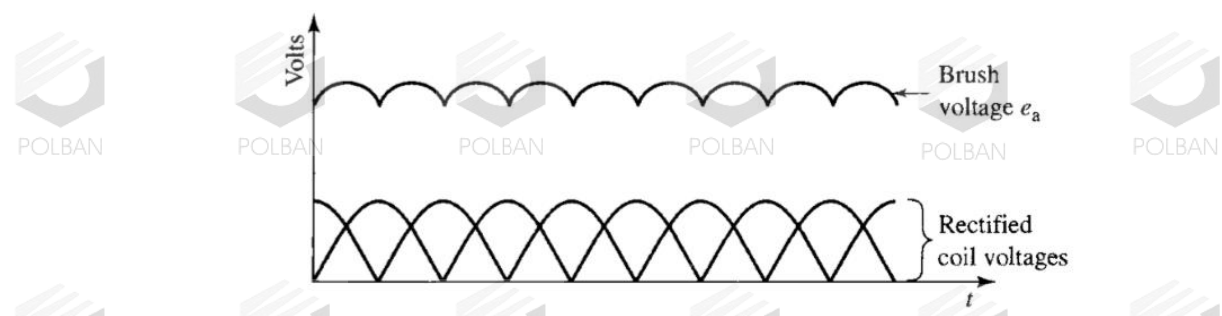
### II.2.8 Komutator

Komutator adalah suatu konverter mekanik yang membuat arus dari sumber mengalir pada arah yang tetap walaupun belitan motor berputar. Komutator adalah dengan 'cicin belah' (*slip-rings*). Proses yang dilakukan oleh komutator adalah "*commutation*" yaitu proses mengubah tegangan bolak-balik dan arus bolak – balik pada rotor menjadi tegangan searah dan arus searah. Komutator adalah bagian penting dari motor arus searah. Cara kerja komutator adalah sebagai berikut :



Gambar II-2 Cara kerja komutator pada lilitan jangkar motor arus searah (Fitzgerald)

Pada gambar II-2 merupakan cara kerja sistem komutator. Arus mengalir melalui segmen 1 kemudian diteruskan ke segmen 7 dan seterusnya. Sehingga dengan sistem ini arah arus disebelah kanan magnetik axis selalu mengalir menuju kedalam bidang dan disebelah kiri axis arah arus selalu mengalir menuju keluar bidang. Medan stator mengalir dari kiri ke kanan, sesuai dengan kaidah tangan kanan maka motor akan konsisten berputar searah jarum jam. Komutator disebut juga sebagai *rectifier* mekanik. Berikut ini adalah hasil keluaran tegangan pada komutator:



Gambar II-3 (atas) tegangan resultan pada sikat. (bawah) Tegangan keluaran pada komutator dengan dua pasang sikat.

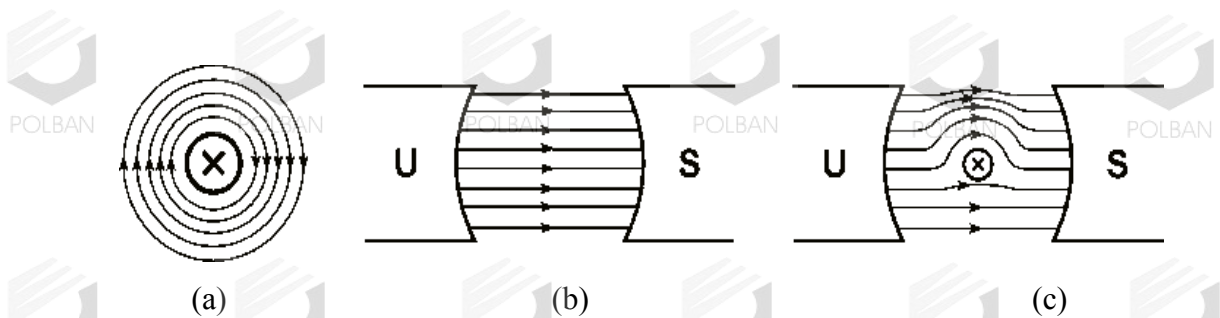
(Fitzgerald,)

Tegangan diatas adalah tegangan resultan pada komutator dengan dua pasang sikat. Dengan dua pasang sikat hasil tegangan masih mempunyai *ripple*, jika jumlah sikat semakin banyak maka *ripple* yang terjadi akan semakin berkurang.

### II.3 Prinsip Kerja Motor DC

Sebuah konduktor yang dialiri arus mempunyai medan magnet disekelilingnya.

Pada saat konduktor yang dialiri arus listrik yang ditempatkan pada suatu medan magnet maka konduktor akan mengalami gaya mekanik, seperti diperlihatkan pada gambar:



Gambar II-4 Pengaruh Konduktor Berarus dalam Medan Magnet

(Kadir, 1980)

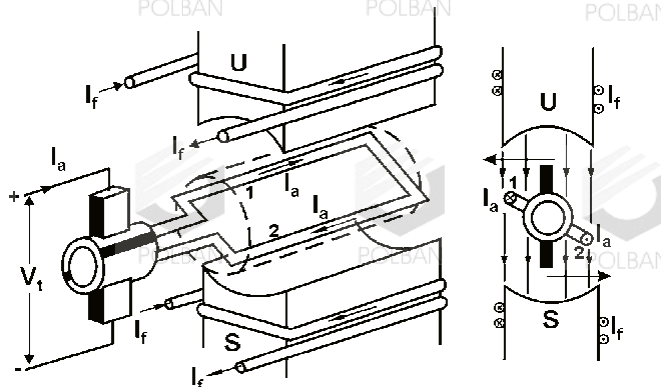
Pada gambar II-4 (a) menggambarkan sebuah konduktor yang dialiri arus listrik menghasilkan medan magnet disekelilingnya. Arah medan magnet yang dihasilkan oleh konduktor dapat diperoleh dengan menggunakan kaidah tangan kanan.

Kuat medan tergantung pada besarnya arus yang mengalir pada konduktor. Sedangkan gambar II.4 (b) menunjukkan sebuah medan magnet yang diabaikan oleh kutub-kutub magnet utara dan selatan. Arah medan magnet adalah dari kutub utara menuju kutub selatan.

Pada saat konduktor dengan arah arus menjauhi pembaca ditempatkan didalam medan magnet seragam, maka medan gabungannya akan seperti yang ditunjukkan

pada gambar II.4 (c) daerah di atas konduktor, medan yang ditimbulkan konduktor adalah dari kiri ke kanan, atau pada arah yang sama dengan medan utama. Hasilnya adalah memperkuat medan atau menambah kerapatan fluksi di atas konduktor dan melemahkan medan atau mengurangi kerapatan fluksi di bawah konduktor.

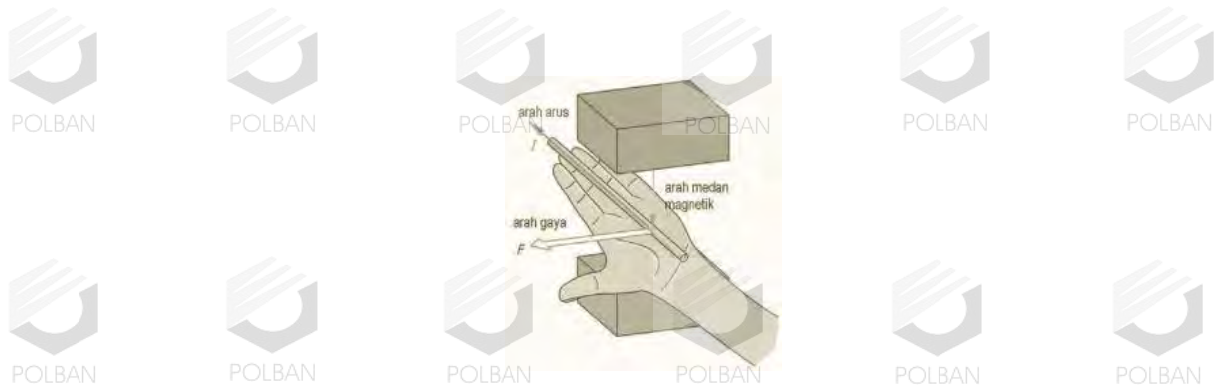
Dalam keadaan ini, fluksi di daerah di atas konduktor yang kerapatannya bertambah akan mengusahakan gaya ke bawah kepada konduktor, untuk mengurangi kerapatannya. Hal ini menyebabkan konduktor mengalami gaya berupa dorongan ke arah bawah. Begitu juga halnya jika arah arus dalam konduktor dibalik. Kerapatan fluksi yang berada di bawah konduktor akan bertambah sedangkan kerapatan fluksi di atas konduktor berkurang. Sehingga konduktor akan mendapatkan gaya tolak ke arah atas. Konduktor yang mengalirkan arus dalam medan magnet cenderung bergerak tegak lurus terhadap medan. Prinsip kerja sebuah motor DC dapat dijelaskan dengan gambar berikut ini.



Gambar II-5 Prinsip Perputaran Motor DC

(Kadir, 1980)

Pada saat kumparan medan dihubungkan dengan sumber tegangan, mengalir arus medan  $I_f$  pada kumparan medan karena rangkaian tertutup sehingga menghasilkan fluksi magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan. Selanjutnya ketika kumparan jangkar dihubungkan ke sumber tegangan, pada kumparan jangkar mengalir arus jangkar. Arus yang mengalir pada konduktor-konduktor kumparan jangkar menimbulkan fluksi magnet yang melingkar. Fluksi jangkar ini memotong fluksi dari kutub medan, sehingga menyebabkan perubahan kerapatan fluksi dari medan utama. Hal ini menyebabkan jangkar mengalami gaya sehingga menimbulkan torsi.



Gambar II-6 Kaidah Tangan Kiri

(Kadir, 1980)

Gaya yang dihasilkan pada setiap konduktor dari sebuah jangkar, merupakan akibat aksi gabungan medan utama dan medan disekeliling konduktor. Gaya yang dihasilkan berbanding lurus dengan besar fluksi medan utama dan kuat medan di sekeliling konduktor. Medan di sekeliling masing-masing konduktor jangkar tergantung pada besarnya arus jangkar yang mengalir pada konduktor tersebut. Arah gaya ini dapat ditentukan dengan kaidah tangan kiri. Bila torsi yang dihasilkan motor lebih besar dari pada torsi beban maka motor akan berputar.

#### II.4 Karakteristik Motor DC

Ketika kondisi tanpa beban kita maksudkan bahwa motor sedang berjalan ringan, sehingga satu – satunya resistansi mekanis disebabkan gesekannya sendiri karena itu hanya memerlukan torsi penggerak kecil agar motor dapat berputar. Jika kita asumsikan bahwa arus tanpa beban sebenarnya adalah nol, perhitungan kecepatan tanpa beban menjadi sangat sederhana seperti ditunjukkan pada persamaan (II-1).

$$V = E = K_E \phi n \text{ atau } n = \frac{V}{K_E \phi} \quad (\text{II-1})$$

Dengan,

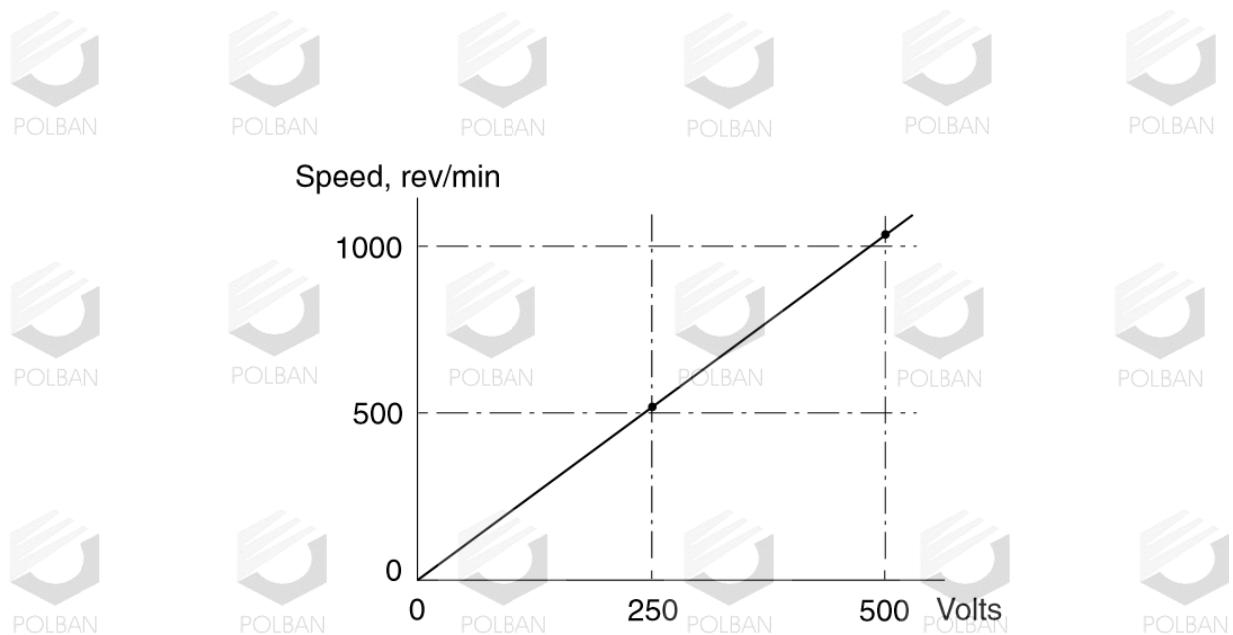
$V$  = Tegangan Jangkar (Volt)

$K_E$  = Konstanta motor

$\Phi$  = Fluks magnet yang terbentuk pada motor

$n$  = Putaran motor (rpm)





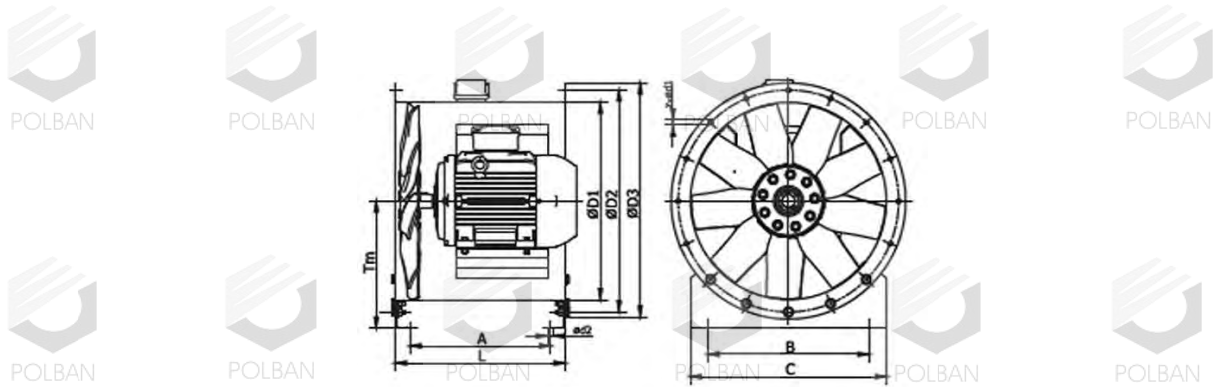
Gambar II-7 Kecepatan tanpa beban motor DC sebagai fungsi tegangan jangkar

(Austin Hughes, 2006)

Gambar II-7 menunjukkan grafik yang linier. Pada dasarnya perbedaan antar perkiraan kecepatan tanpa beban sebenarnya sangat kecil dan tidak mungkin signifikan. Oleh karena itu kita dapat dengan aman menggunakan persamaan (II-1) untuk memprediksi kecepatan tanpa beban pada tegangan jangkar.

## II.5 Fan

Fan adalah alat untuk mengalirkan udara. Karena itu fan dikenal dengan sebutan penukaran, penghembusan, atau pembuang udara. Alat ini banyak di jumpai pada sistem ventilasi dan peralatan pendingin udara juga pada instalasi yang mengalirkan udara panas dan gas buang. Selain itu masih banyak lagi penggunaan fan ini di Industri.

Gambar II-8 Motor *Fan Test Set*

(Hungaro-Ventilator, 2010)

Tinggi tekan yang dihasilkan fan, pada umumnya, rendah dibandingkan jenis mesin-mesin pengalir udara yang lain seperti *blower* dan *kompresor*. Daya masukan yang digunakan diperoleh dari motor listrik. Untuk motor listrik sendiri umumnya menggunakan motor DC. Motor tersebut akan di *couple* dengan *propeller* atau baling-baling dan akan mengalirkan udara

## II.6 Prinsip Dasar Kontrol Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah

Motor arus searah (DC) merupakan jenis motor yang sering digunakan dalam berbagai penggerak karena jenis motor ini relatif mudah untuk dikendalikan. Salah satu cara pengendali kecepatan motor DC yang sering digunakan adalah *DC Chopper*. Pengendalian dilakukan dengan mengatur tegangan terminal adalah berbanding lurus, sehingga semakin kecil tegangan terminal maka kecepatan motor akan menurun. Hal ini juga di dukung dengan adanya kemajuan teknologi semikonduktor yang memungkinkan penggunaan penyaklaran *DC Chopper* dengan frekuensi tinggi. Dari referensi yang di peroleh , pengendalian kecepatan motor DC ( $n$ ) dapat dirumuskan di persamaan (II-2) dibawah ini :

$$n = \frac{V_{TM} - I_A R_A}{K\phi} \quad (II-2)$$

Dengan :

$V_{TM}$  = Tegangan terminal (Volt)

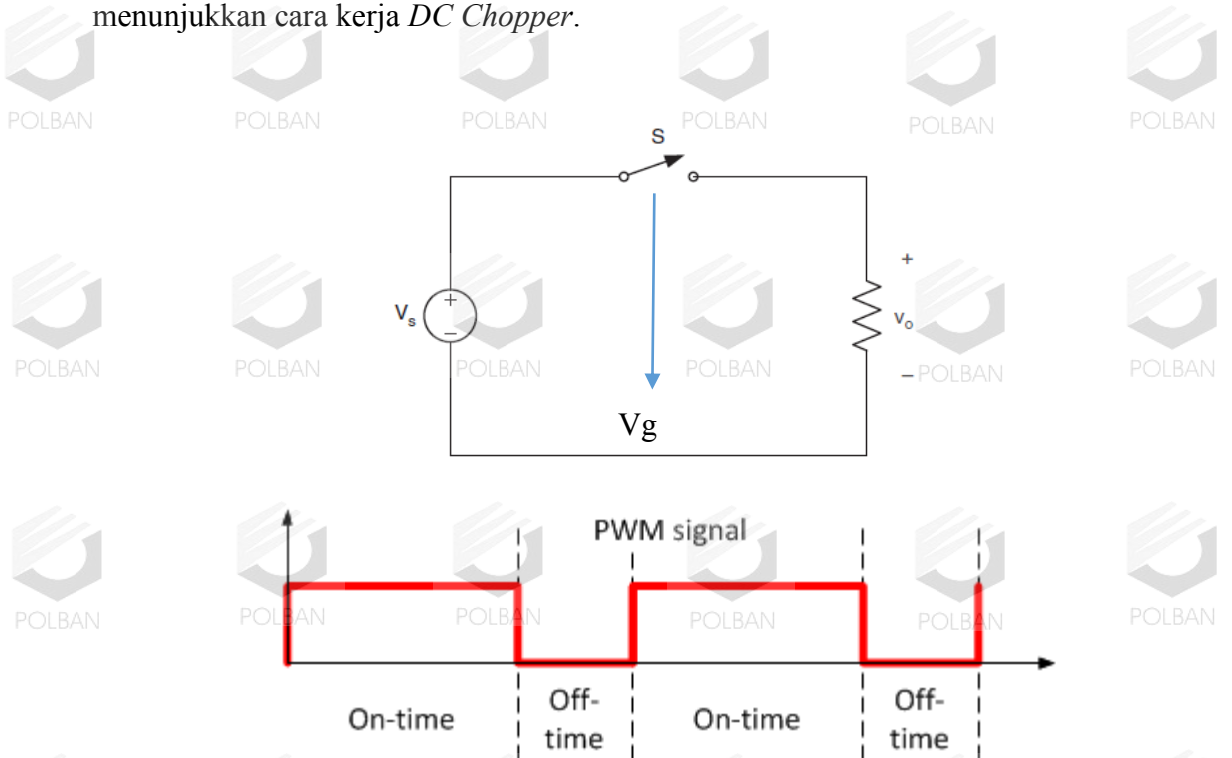
$I_A$  = Arus jangkar motor (Ampere)

- $R_A$  = Hambatan jangkar motor (Ohm)
- $K$  = Konstanta motor
- $\Phi$  = Fluks magnet yang terbentuk pada motor

Dalam kasus pengendalian kecepatan putaran motor DC, tegangan terminal motor  $V_{TM}$  adalah variable yang diatur untuk mendapatkan kecepatan putar motor yang diinginkan. Pengaturan dengan teknik *DC Chopper*, sehingga diperoleh di persamaan (II.3).

$$n = \frac{T_{on} V_{TM} - I_A R_A}{K \phi} \tag{II-3}$$

Dari persamaan (II.3) tegangan terminal motor diatur dengan menggunakan *DC Chopper*. Besarnya tegangan terminal dapat ditentukan dengan mengatur waktu penyalan  $T_{on}$ . Jika nilai  $T_{on}$  semakin besar maka tegangan terminal rata – rata juga akan semakin besar begitu juga sebaliknya. Jika waktu penyalan  $T_{on}$  semakin kecil maka tegangan terminal rata – rata juga akan semakin mengecil. Gambar berikut menunjukkan cara kerja *DC Chopper*.



Gambar II-9 Cara kerja *dc chopper*

Keterangan :

$V_s$  = Tegangan sumber (Volt)

$V_g$  = Tegangan *gate* (Volt)

$V_o$  = Tegangan keluaran *DC Chopper* (Volt)

$t_{on}$  = Waktu hidup (sekon)

$t_{off}$  = Waktu mati (sekon)

Dari gambar II-9 Dapat diketahui frekuensi *chopper*

$$f_c = \frac{1}{t_{on} + t_{off}} \quad (II-4)$$

Keterangan :

$f_c$  = frekuensi *chopper*

sehingga *duty cycle* dari *chopper* adalah:

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (II-5)$$

Keterangan :

$D$  = *duty cycle*

$T$  = periode *chopper*

Dengan mengasumsikan bahwa tidak ada tegangan jatuh dan *switch* ideal maka tegangan keluaran yang dihasilkan dari sistem *DC chopper* ini adalah :

$$V_{dc} = \frac{t_{on}}{T} V_s = dV_s \quad (II-6)$$

Keterangan :

$V_s$  = Sumber tegangan

## II.7 Elektronika Daya

Elektronika daya yaitu konversi daya listrik dengan *static converter* yang mengaplikasikan komponen elektronik dan control untuk mengkonversikan daya listrik atau penggabungan antara daya, elektronika dan control menjadi satu.

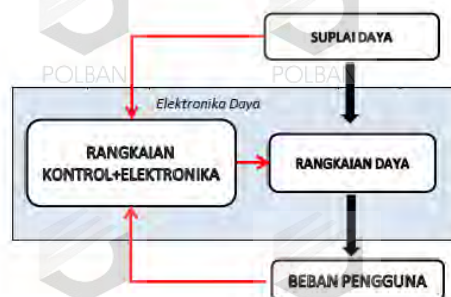
Penggunaan converter statis dalam system kelistrikan memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan konverter rotasi atau converter yang menggunakan mesin – mesin listrik lainnya yaitu:

1. Efisiensi tinggi
2. Perawatan relatif lebih sederhana karena static (tidak ada yang aus karena usia)
3. Ukuran/ bobot relatif lebih kecil dan ringan dengan daya yang sama dengan system *dynamic*
4. Pengoperasian yang sederhana
5. Respon (reaksinya lebih cepat) karena tidak ada momen kelembaman
6. Tidak bising (*noice* rendah)

Disamping kelebihan penggunaan *converter* statis diatas masih ada kekurangan dan kelemahan antara lain :

1. Timbulnya harmonisa yang tinggi sehingga akan mempengaruhi sumber tenaga listriknya, yang ujung – ujungnya akan mempengaruhi ke beban lainnya.
2. Kapasitas daya kemampuan masih terbatas

Pengaplikasian elektronika daya yang menggunakan peralatan elektronika terutama semikonduktor yang difungsikan sebagai saklar (switching) untuk melakukan pengaturan dengan cara melakukan pengubahan tipe sumber dari AC – AC, AC – DC, DC – DC dan DC – AC. Pengkonversi daya di implementasikan menggunakan rangkaian elektronika daya. Karena pengkonversi daya di tempatkan antara sumber dan beban.

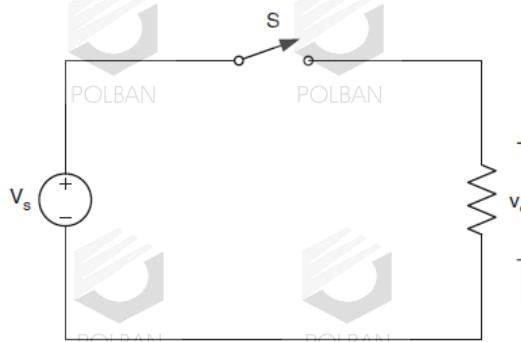


Gambar II-10 Blok diagram elektronika daya

(Sodiq, 2011)

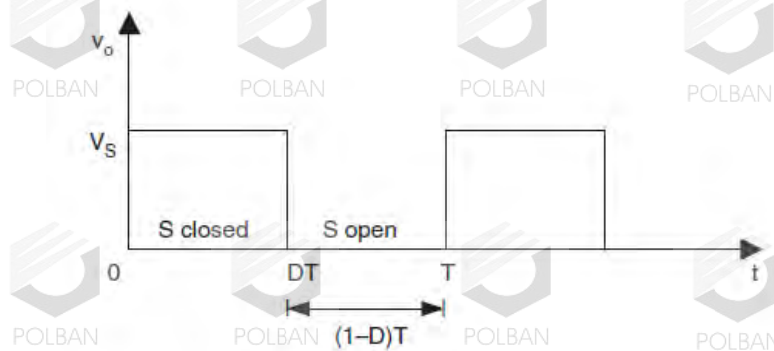
**II.7.1 Konverter DC ke DC (DC Chopper)**

Konverter DC ke DC biasa disebut *DC Chopper* atau saklar yang diatur (switching regulator), karena prinsip kerjanya mengubah-ubah tegangan input DC konstan dikonversikan ke tegangan DC variabel dengan cara mencacah (*chopper*) tegangan masukan. Pada umumnya DC chopper menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) sebagai pembangkit pulsa pada sistem kontrol. Pada tegangan keluaran dari DC Chopper di kontrol dengan mengatur waktu nyala dari switch dengan pengaturan pada lebar pulsa tegangan pada output.



Gambar II-11 Diagram rangkaian DC chopper dengan beban resistif

(Rashid, 2011)



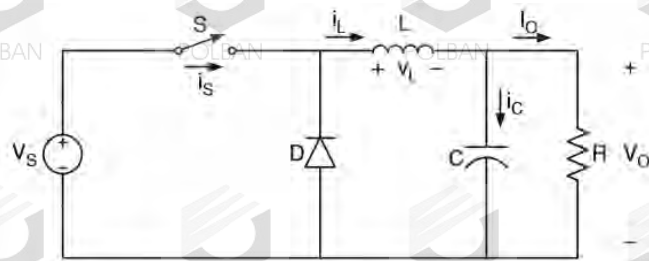
Gambar II-12 Bentuk tegangan *output DC Chopper*

(Rashid, 2011)

**II.7.1.1 Buck Konverter**

Pada pengaturan putaran motor diperlukan sebuah konverter DC – DC karena tegangan yang akan diatur adalah tegangan DC keluaran dari rectifier satu fasa . Jenis konverter DC – DC yang digunakan yaitu *DC buck converter*. *DC buck converter* adalah DC *chopper* yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC ke nilai tegangan

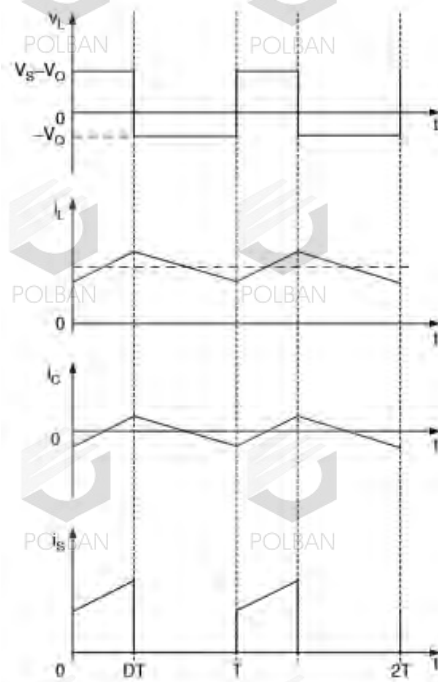
yang lebih rendah ( DC-DC *step down converter*). Komponen yang ada didalamnya yaitu *Transistor* , Induktor dan Kapasitor. *Transistor* berfungsi sebagai saklar dengan frekuensi yang sangat tinggi, untuk menjaga kontinuitas keluaran dari buck konverter maka diperlukan induktor untuk menyimpan energi ( arus) untuk tetap dapat menyuplai beban meski *switching transistor* sedang dalam keadaan mati (*off*). Selain induktor diperlukan pula dioda dan kapasitor. Ketiga komponen ini seringkali disebut sebagai *Flywheel Circuit*, hal ini dikarenakan fungsi dari ketiga komponen yang bekerja seperti *mechanical fly wheel* atau roda gila yang mampu menyimpan energi. Berikut adalah gambar diagram rangkaian *buck converter*.



Gambar II-13 Diagram rangkaian buck converter

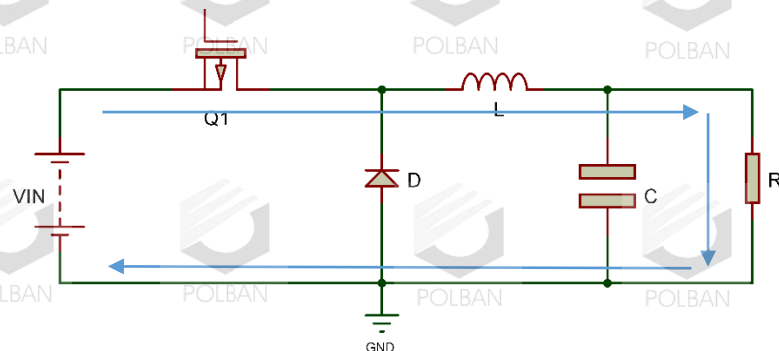
(Rashid, 2011)

Tegangan keluaran dari transistor akan berbentuk kotak sesuai dengan pengaturan *duty cycle* karena mengalami proses *switching*. Arus yang akan mengalir ke induktor akan naik apabila saklar ON . Begitu juga sebaliknya apabila saklar OFF arus yang akan mengalir ke induktor akan turun. Berikut gambar gelombang dari rangkaian DC *buck converter*.



Gambar II-14 Bentuk tegangan keluaran buck converter (Rashid, 2011)

Prinsip kerja dari rangkaian *buck converter* diatas di bagi menjadi 2 *mode*. Pada saat *mode* pertama, yaitu *switch* yang pada gambar ditulis Q1 dalam keadaan ON sehingga arus *input* akan melalui induktor dan Q1 karena dioda mendapat bias mundur. Pada saat *mode* kedua, yaitu Q1 dalam keadaan OFF, arus dari induktor L akan mengalir ke kapasitor kemudian ke Dm dan beban. Dalam hal ini energi yang tersimpan di dalam induktor akan ditransfer ke beban sehingga arus induktor akan berkurang sampai Q1 dalam siklus ON berikutnya.



Gambar II-15 Rangkaian *buck converter* dengan analisa tertutup



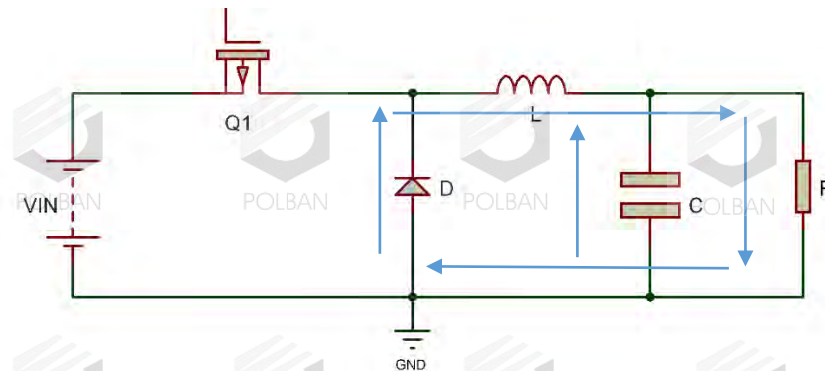
Pada Gambar II-15 menunjukkan rangkaian *buck* dalam keadaan Q1 ON. Hal ini menyebabkan dioda mengalami *reverse* bias sehingga arus akan mengalir ke induktor menuju kapasitor dan beban, kapasitor akan mengalami proses pengisian.. Dioda tidak akan menerima arus karena dioda akan mengalirkan arus ketika mengalami *forward* bias. Dengan adanya arus yang mengalir ke induktor maka terjadi pengisian arus pada induktor sehingga arus induktor ( $I_L$ ) naik dapat diketahui dalam persamaan (II-7) sampai dengan (II-10).

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \quad (II-7)$$

$$\Delta I_{L_{on}} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \cdot t_{on} \quad (II-8)$$

$$\Delta I_{L_{on}} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \cdot t_{on} \cdot \frac{T}{T} \quad (II-9)$$

$$\Delta I_{L_{on}} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \cdot DT \quad (II-10)$$



Gambar II-16 Rangkaian *buck* dengan analisa terbuka

Pada Gambar II-16 menunjukkan rangkaian *buck* dalam keadaan Q1 OFF, arus yang disupply dari PLN yang melalui *rectifier* akan tertahan di *transistor*, dan beban akan disuplai oleh induktor, setelah induktor kehabisan energi untuk mensuplai beban, maka kapasitor yang selama periode ON mengalami *charging* kini mengalami *discharging* untuk memenuhi kebutuhan arus beban menggantikan peran induktor. Dioda kini mengalami *forward bias* sehingga arus mengalir dari induktor menuju beban kemudian menuju dioda dan kembali menuju induktor. Hal ini terus berlangsung selama buck konverter mengalami perioda OFF sehingga beban terus

tersuplai sampai MOSFET kembali hidup. Penurunan nilai arus pada induktor dapat diketahui dengan mengamati persamaan (II-11) sampai dengan (II-14).

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{0 - V_{out}}{L} \quad (II-11)$$

$$\Delta I_{L_{off}} = \frac{-V_{out}}{L} \cdot t_{off} \quad (II-12)$$

$$\Delta I_{L_{off}} = \frac{-V_{out}}{L} \cdot (T - t_{on}) \cdot \frac{T}{T} \quad (II-13)$$

$$\Delta I_{L_{off}} = \frac{-V_{out}}{L} \cdot (1 - D) T \quad (II-14)$$

Setelah mengetahui dari kedua proses yang terjadi pada rangkaian *buck converter*. Terjadinya penambahan dan pengurangan arus induktor selama proses *switching*. Diasumsikan bahwa penambahan dan pengurangan arus sama besar maka pengaruh *duty cycle* terhadap tegangan keluaran DC *buck converter* dapat diamati melalui persamaan (II-15) sampai dengan (II-19).

$$\Delta I_{L_{on}} = -\Delta I_{L_{off}} \quad (II-15)$$

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{L} \cdot DT = -\left(\frac{-V_{out}}{L} \cdot (1 - D) T\right) \quad (II-16)$$

$$(V_{in} - V_{out}) \cdot DT = -(-V_{out} \cdot (1 - D) T) \quad (II-17)$$

$$V_{in} DT - V_{out} DT = V_{out} T - V_{out} DT \quad (II-18)$$

$$V_{in} \cdot D = V_{out} \quad (II-19)$$

Dapat disimpulkan bahwa *duty cycle* dapat mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *DC buck converter*.

Untuk menentukan besaran komponen pada rangkaian *DC Buck Converter* yang berperan penting pada proses *Continuous Conduction Mode (CCM)* yaitu Induktor dan Kapasitor. Untuk penentuan nilai induktor dapat digunakan persamaan (II-20).

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) \times D}{\Delta I \times f} \quad (II-20)$$

Dengan,

$L$  = Nilai induktor (Henry)

$V_{in}$  = Tegangan *input DC buck converter* (Volt)

$V_{out}$  = Tegangan *output DC buck converter* (Volt)

$\Delta I$  = Ripple arus (Ampere)

$f$  = Frekuensi (Hz)

Nilai tersebut adalah nilai minimum yang dibuat untuk penentuan nilai induktor. Sedangkan untuk mencari nilai kapasitor untuk mengurangi ripple dari rangkaian *DC buck converter* dapat menggunakan persamaan (II-21).

$$C = \frac{\Delta I}{8 \times f \times \Delta V} \quad (II-21)$$

Dengan,

$C$  = Nilai kapasitor (Farad)

$\Delta V$  = Ripple tegangan (Tegangan)

$\Delta I$  = Riak arus (Ampere)

$f$  = Frekuensi (Hz)

Nilai tersebut adalah nilai minimum yang dibuat untuk penentuan nilai kapasitor.

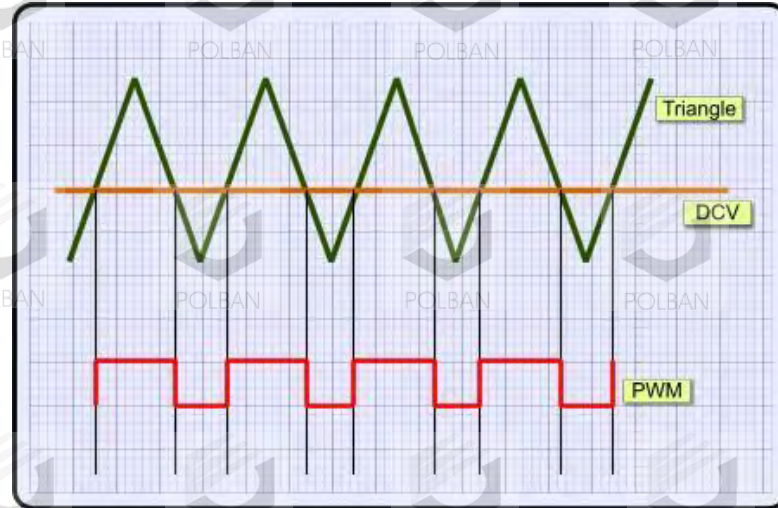
## II.8 PWM

Teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) ini adalah melakukan modulasi sumber tegangan (bolak-balik atau searah) ke bentuk pulsa untuk mengatur tegangan.

Dalam sistem PWM terdapat dua bagian yaitu *carier* dan bagian referensi. Sinyal *carier* memiliki beberapa variasi yaitu :

- SPWM yang dibangkitkan oleh oleh sinyal segitiga
- SPWM yang dibangkitkan oleh sinyal gergaji
- SPWM yang dibangkitkan oleh sinyal trapezoidal

Berikut ini adalah gambar skema pembentukan PWM :



Gambar II-17 Pembentukan sinyal PWM

Pada gambar sinyal *carier* yang digunakan adalah sinyal segitiga. Sedangkan DCV merupakan sinyal referensi yang menentukan lebarnya pulsa PWM. Pembentukan sinyal PWM terjadi jika sinyal referensi lebih dari sinyal *carier* maka keluaran akan bernilai 0 jika sinyal referensi kurang dari sinyal *carier* maka keluaran bernilai 1. Dengan mengatur besarnya DCV maka lebar sinyal PWM dapat diatur. Sehingga keluaran sesuai dengan sinyal referensi yang ditentukan.

## II.9 Arduino

Arduino adalah *platform* mikrokontroler yang populer dan banyak dipakai dalam bidang elektronika dan juga kontrol. Arduino adalah mikrokontroler yang bersifat *open source*, artinya dapat dikembangkan secara perorangan tanpa harus meminta lisensi asli dari Arduino. Arduino memiliki 28 pin dalam bentuk *female*. Arduino memiliki catu daya 5 V untuk bisa beroperasi.



Gambar II-18 Mikrokontroler Arduino Uno

(Sumber G. Smith. 2011)

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (which provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Gambar II-18 menunjukkan bahwa Arduino memiliki 6 masukan ADC (*Analog to Digital Converter*) yang mana masukan tersebut diberi nama A0, A1, A2, A3, A4, A5. Untuk A4 dan A5, bisa digunakan sebagai komunikasi *wire* atau yang lebih dikenal dengan istilah *Serialclock and Serial Data*. Untuk A0 hingga A3 hanya bisa digunakan sebagai masukan ADC saja. ADC Arduino memiliki resolusi sebesar 10 bit (0-1023). Artinya, untuk masukan tegangan sebesar 0 V maka ADC menghasilkan bilangan 0 dan untuk masukan sebesar 5 V akan menghasilkan bilangan 1023.

$$ADC\ Output = \frac{V_{input}}{V_{ref}} \times 1023 \quad (II-22)$$

$V_{input}$  = Tegangan masukan (0V – 5V)

$V_{reff}$  = Tegangan referensi ( $V_{reff}$  arduino = 5V)

Sebagai contoh perhitungan ADC adalah sebagai berikut, Saat sensor memberikan tegangan masukan sebesar 4V, maka Arduino memberikan nilai sebesar 818.

$$ADC\ Output = \frac{4}{5} \times 1023$$

$$ADC\ Output = 818$$

Menurut perhitungan, seharusnya nilai ADC adalah 818,4 akan tetapi ADC memiliki tipe sebagai bilangan *integer* atau bilangan bulat. Sehingga nilai 818,4 akan menjadi 818. Jika masukan pada ADC lebih dari 5V, maka terjadi *overflow* pada *count* ADC yang mana ADC tidak sanggup lagi membaca. Nilai yang dihasilkan ADC saat tegangan masukan lebih dari 5V, tetap berada pada 1023. Jika hal ini terjadi secara terus menerus, fitur ADC pada Arduino akan mengalami kerusakan.

Tipe ADC pada Arduino adalah *successive approximation*, salah satu metoda *Analog to Digital Converter* yang memanfaatkan proses ‘*heuristic*’ atau coba – coba untuk mendapatkan nilai digital dari tegangan analog yang masuk ke pin ADC Arduino. ADC tipe ini melakukan konversi dengan mencoba semua nilai bit mulai dari *most-significant bit* (MSB) dan berakhir pada *least-significant bit* (LSB). Di dalam proses perhitungan, register akan memperhatikan keluaran komparator untuk mengetahui apakah bilangan biner hasil perhitungan lebih kecil atau lebih besar dari masukan sinyal analog. Cara register menghitung ini mirip dengan metode “*trial-and-fit*” dalam pengkonversian bilangan desimal menjadi biner, dimana nilai-nilai yang berbeda dari bit-bit diujikan dari MSB sampai dengan LSB untuk memperoleh sebuah bilangan biner yang sama dengan bilangan desimal asli. Keuntungan dari teknik penghitungan model ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh hasil konversi menjadi lebih cepat.

## II.10 Komponen Elektronika

### II.10.1 FET

*Field Effect Transistor* (FET) adalah komponen elektronika aktif yang menggunakan medan listrik untuk mengendalikan konduktifitasnya. Dikatakan *field*

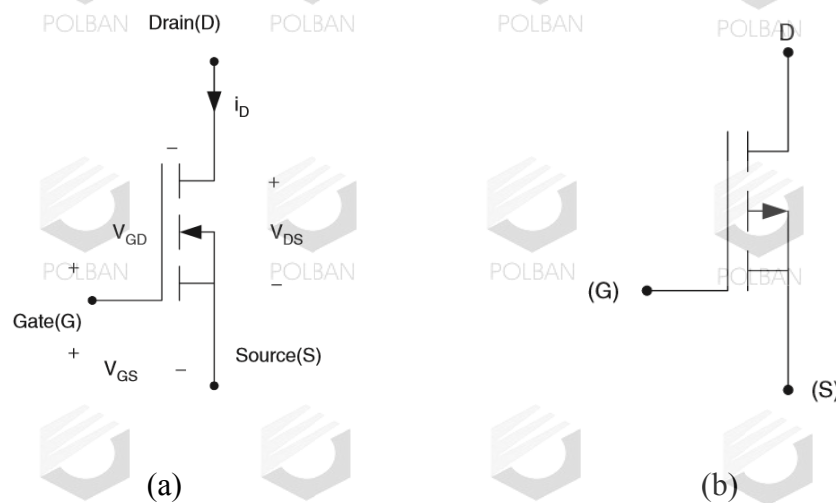
*effect* karna pengoperasian transistor jenis ini tergantung pada tegangan (medan listrik) yang terdapat pada input gerbangnya. Pada dasarnya terdapat dua jenis klasifikasi utama pada *field effect transistor* yaitu JFET (*Junction Field Effect Transistor*) dan MOSFET (*Metal Oxide Semiconduction Field Effect Transistor*)

### II.10.1.1 MOSFET

Saluran pada MOSFET dapat berupa semikonduktor tipe-N ataupun tipe-P.

Terminal atau elektroda gerbangnya adalah sepotong logam yang permukaannya dioksidai. Lapisan oksidasi ini berfungsi untuk menghambat hubungan listrik antara terminal gerbang dengan salurannya. Karena lapisan oksida ini bertindak sebagai di elektrik, maka pada dasarnya tidak akan terjadi aliran arus antara gerbang dan saluran.

Seperti yang telah disebut sebelumnya, bahwa MOSFET pada dasarnya terdiri dari 2 tipe yaitu MOSFET tipe N dan MOSFET tipe P. Gambar II-19 akan menunjukkan simbol MOSFET tipe N dan tipe P.



Gambar II-19 (a) Simbol MOSFET tipe N, (b) Simbol MOSFET tipe P

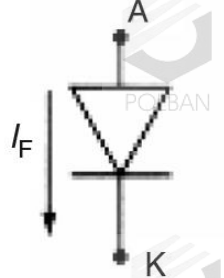
(Rashid, 2011)

### II.10.2 Dioda

Dioda adalah komponen aktif semikonduktor yang terdiri dari *junction* P-N.

Sifat dioda yaitu dapat menghantarkan arus pada tegangan maju dan menghambat arus pada tegangan balik. Dioda semikonduktor hanya melewatkan arus searah saja (*forward*), sehingga banyak digunakan sebagai komponen penyearah arus. Secara

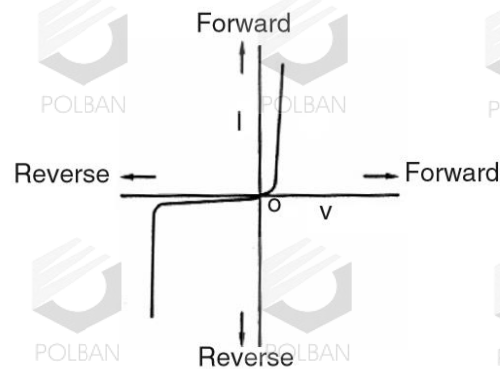
sederhana sebuah dioda bisa kita asumsikan sebuah katup, dimana katup tersebut akan terbuka apabila air yang mengalir dari belakang katup menuju kedepan, sedangkan katup akan tertutup oleh dorongan air dari depan katup.



Gambar II-20 Simbol umum dioda

(Rashid, 2011)

Dioda disimbolkan dengan gambar anak panah yang pada ujungnya terdapat garis yang melintang. Simbol tersebut sebenarnya adalah sebagai perwakilan dari cara kerja dioda itu sendiri. Pada pangkal anak panah disebut juga anoda (kaki *positif* = P) dan pada ujung anak panah disebut sebagai katoda (kaki *negative* = N).



Gambar II-21 Karakteristik statis dari dioda (maju dan mundur memiliki skala yang berbeda)

(Rashid, 2011)

Dari beberapa jenis dioda, dioda memiliki fungsi yaitu sebagai berikut :

1. Sebagai penyearah (dioda *bridge*).
2. Sebagai penstabil tegangan / *voltage regulator* (dioda *zener*).
3. Pengaman / sekering.








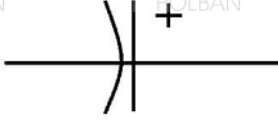

4. Sebagai rangkaian *clipper*, yaitu untuk memangkas / membuang level sinyal yang ada diatas atau dibawah level tegangan tertentu .
5. Sebagai rangkaian *clammer*, yaitu untuk menambahkan komponen DC kepada suatu sinyal AC.
6. Sebagai pengganda tegangan.
7. Sebagai indikator panas.
8. Sebagai sensor cahaya (*photo dioda*).
9. Sebagai rangkaian VCO (*Voltage controlled oscillator*) (Dioda varactor).

### II.10.3 Kapasitor

Kapasitor merupakan komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan elektron – elektron selama waktu tertentu. Pengertian lain dari kapasitor yaitu komponen elektronika yang dapat menyimpan dan melepaskan muatan listrik. Satuan kapasitor diambil dari nama penemunya yaitu Michael Faraday (1791 – 1867) yang berasal dari Inggris. Namun Farad adalah satuan yang sangat besar, oleh karena itu pada umumnya kapasitor yang digunakan dalam peralatan elektronika adalah satuan farad yang dikalikan menjadi PikoFarad, NanoFarad dan MicroFarad. Tabel II-1 Menunjukkan jenis – jenis dari kapasitor.

Tabel II-1 Kapasitor nilai tetap (*fixed capacitor*)

Nama Komponen	Gambar	Simbol
Kapasitor Keramik		
Kapasitor Polyester		

Kapasitor Kertas		
Kapasitor Mika		
Kapasitor Elektrolit		
Kapasitor Tantalum		

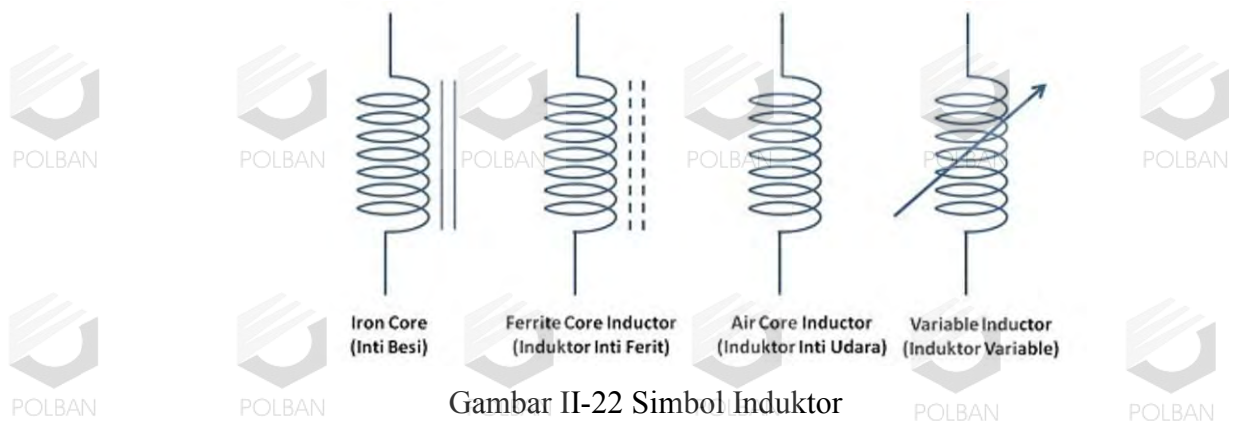
Kapasitor memiliki beberapa fungsi yaitu :

1. .Sebagai penyimpan arus atau tegangan listrik.
2. Sebagai konduktor yang dapat melewatkan arus AC.
3. Sebagai isolator yang menghambat arus DC
4. Sebagai *filter* dalam rangkaian *power supply*.
5. Sebagai kopling.
6. Sebagai pembangkit frekuensi dalam rangkain osilator.
7. Sebagai penggeser fasa.
8. Sebagai pemilih gelombang frekuensi .

#### II.10.4 Induktor

Induktor merupakan komponen elektronika pasif sama seperti resistor dan kapasitor. Induktor biasa dikenal juga dengan sebutan coil. Induktor adalah komponen yang terdiri dari susunan lilitan kawat yang membentuk sebuah kumparan. Pada dasarnya, induktor dapat menimbulkan medan magnet jika dialiri arus listrik. Medan magnet yang ditimbulkan tersebut dapat menyimpan energi dalam waktu yang relatif singkat. Dasar dari sebuah induktor adalah berdasarkan hukum induksi faraday.

Kemampuan dari induktor dalam menyimpan energi magnet disebut dengan induktansi yang satuan unitnya adalah Henry (H). Satuan Henry pada umumnya terlalu besar untuk komponen induktor yang terdapat pada rangkaian elektronika. Oleh karena itu, satuan – satuan yang merupakan turunan dari Henry digunakan untuk menyatakan kemampuan induktansi sebuah induktor. Satuan – satuan turunan dari Henry tersebut diantaranya adalah milihenry (mH) dan microhenry (uH). Gambar II-20 menunjukkan beberapa simbol dari induktor (coil).



Gambar II-22 Simbol Induktor

Nilai induktansi sebuah induktor (Coil) tergantung pada 4 faktor, diantaranya adalah :

- **Jumlah lilitan**, semakin banyak lilitannya maka semakin tinggi nilai induktansinya.
- **Diameter Induktor**, Semakin besar diameternya semakin tinggi pula induktansinya.
- **Permeabilitas inti**, yaitu bahan inti yang digunakan seperti udara, besi, maupun ferit.
- **Ukuran panjang induktor**, semakin pendek induktor (coil) tersebut semakin tinggi induktansinya.