

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Landasan teori

Generator listrik adalah suatu peralatan yang mengubah enersi mekanis menjadi enersi listrik. Konversi enersi berdasarkan prinsip pembangkitan tegangan induksi sesuai dengan Hukum Faraday dimana tegangan induksi akan dibangkitkan pada konduktor bila konduktor memotong fluksi atau medan magnet. Tegangan induksi ini akan menimbulkan arus bila terjadi rangkaian tertutup (*closed circuit*). Bagian terpenting dari generator terdiri dari dua bagian yaitu:

- a. Konduktor, tempat timbulnya tegangan induksi
- b. Belitan medan untuk menghasilkan medan magnet.

Motor listrik adalah suatu peralatan yang dapat mengubah enersi listrik menjadi mekanis. Prinsip dasar dari motor berdasarkan Hukum Fleming yang menyatakan bila suatu konduktor yang dialiri oleh arus listrik berada dalam medan magnet (fluksi), maka pada konduktor tersebut timbul gaya gerak akibat interaksi antara medan magnet dan arus. Bagian terpenting dari motor terdiri dari dua bagian yaitu:

- a. Belitan medan (eksitasi), untuk menghasilkan medan magnet
- b. Belitan jangkar. Belitan jangkar dihubungkan ke sumber DC sehingga menghasilkan arus jangkar. Bila dilihat dari segi konstruksi, tidak ada perbedaan yang mendasar antara generator DC dan motor DC. Pada kenyataannya mesin DC yang sama dapat bekerjasebagai generator DC ataupun motor DC. Perbedaannya hanyalah pada arah arus mesin DC tersebut.

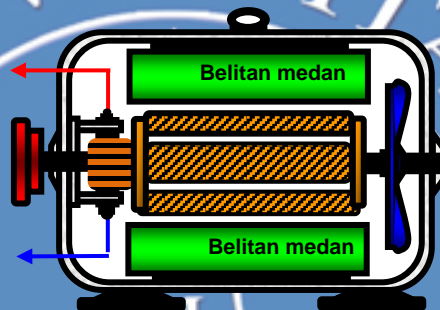
Berdasarkan prinsip ini, penulis merencanakan suatu tachometer untuk mengukur jumlah putaran (rpm) mesin yang berputar (motor atau generator) dari dinamo tape recorder yang bekerja pada arus DC. Dinamo tape recorder dioperasikan sebagai generator dengan memutar poros dari dinamo *tape recorder*.

Tujuan dari penelitian/pembuatan alat ini adalah membuat tachogenerator dengan menggunakan mesin DC yang sederhana yaitu dinamo tape recorder dengan tampilan hasil pengukuran rpm secara digital. Selama ini untuk mengukur rpm motor/generator pada percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium

Konversi Energi Listrik dan Laboratorium Mesin Listrik digunakan tachometer analog (mekanis) dengan sistem sentuhan (*direct contact tachometer*).

## 2.2 Generator DC

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC / arus searah. Pada umumnya generator DC dibuat dengan menggunakan magnet permanent dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban lebih, starter eksitasi, penyearah, bearing dan rumah generator atau casing, serta bagian rotor. Gambar 2.1 menunjukkan gambar potongan melintang konstruksi generator DC



Gambar 2.1 Konstruksi Generator DC.

Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.

## 2.3 Prinsip Kerja Generator DC

Prinsip kerja suatu generator arus searah berdasarkan hukum Faraday :

$$E_a = N \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

N = Jumlah Lilitan

$\phi$  = Fluksi Magnet

$E_a$  = Tegangan induksi (GGL)

Dengan lain perkataan, apabila suatu konduktor memotong garis-garis fluksi magnetik yang berubah-ubah, maka GGL akan dibangkitkan dalam konduktor itu (Hukum Faraday). Syarat untuk dapat membangkitkan GGL adalah :

- Harus ada konduktor (hantaran kawat)
- Harus ada medan magnetik
- Harus ada gerak atau perputaran dari konduktor dalam medan, atau ada fluksi yang berubah yang memotong konduktor itu



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Generator DC

**Keterangan gambar :**

- Pada gambar Generator DC Sederhana dengan sebuah penghantar kutub tersebut, dengan memutar rotor ( penghantar ) maka pada penghantar akan timbul EMF.
- Kumbaran ABCD terletak dalam medan magnet sedemikian rupa sehingga sisi A- B dan C-D terletak tegak lurus pada arah fluks magnet.
- Kumbaran ABCD diputar dengan kecepatan sudut yang tetap terhadap sumbu putarnya yang sejajar dengan sisi A-B dan C-D.
- GGL induksi yang terbentuk pada sisi A-B dan sisi C-D besarnya sesuai dengan perubahan fluks magnet yang dipotong kumbaran ABCD.

Untuk menentukan arah arus pada setiap saat, berlaku pada kaidah tangan kanan :

- Ibu jari : Gerak perputaran
- Jari telunjuk : Medan magnetik kutub utara dan selatan
- Jari tengah : Arah tegangan V dan arus I

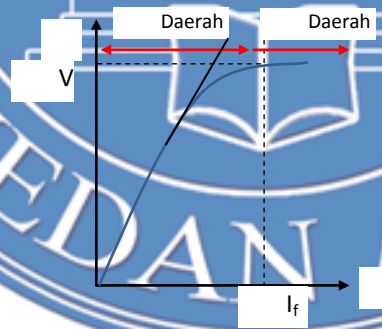
Fluksi dihasilkan oleh arus medan. Akibat perputaran pada belitan jangkar (*armature*), maka timbul tegangan induksi pada belitan jangkar, yaitu:

$$E_a = c n \phi \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- $E_a$  : Tegangan induksi (volt)
- $C$  : Konstanta generator
- $\phi$  : Fluksi (weber)
- $N$  : Putaran generator (rpm)

Dari persamaan (2.2) terlihat bahwa tegangan induksi  $E_a$  berbanding lurus dengan arus medan ( $I_f$ ) dan putaran generator. Karakteristik tegangan jangkar sebagai fungsi arus medan ( $I_f$ ) dapat dilihat seperti pada gambar 2.2



Gambar 2.3 : Karakteristik  $V_a$  vs  $I_f$

Pada daerah linier perubahan arus  $I_f$  sebanding dengan perubahan tegangan  $V_a$  atau  $V_a/I_f = \text{konstant}$ .

Ditinjau dari pemberian fluksi (arus medan), generator DC dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

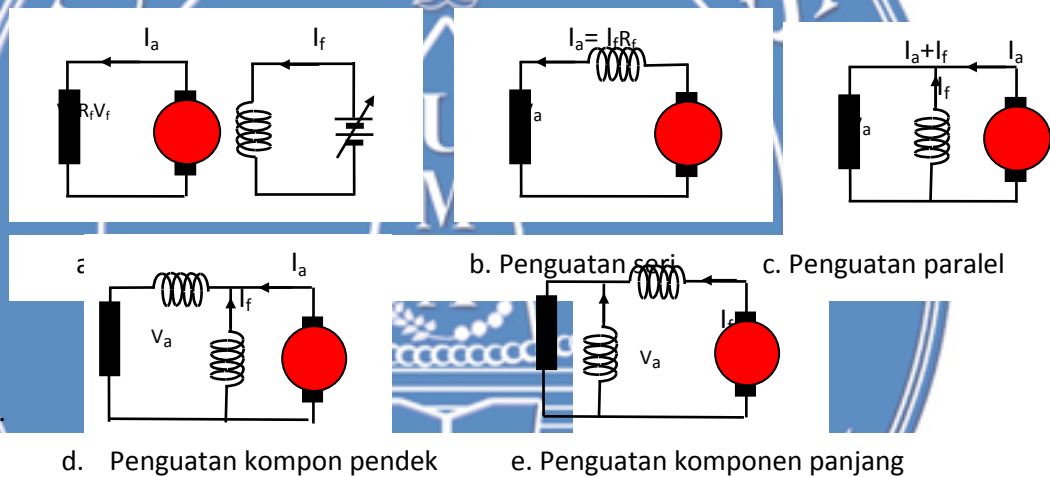
a. **Generator penguatan bebas.**

Yang dimaksud dengan generator penguatan bebas adalah generator dimana sumber arus eksitasi berasal dari sumber yang terpisah dengan rangkaian jangkar.

b. **Generator penguatan sendiri.**

Yang dimaksud dengan generator penguatan sendiri adalah generator dimana sumber arus eksitasi berasal dari rangkaian jangkarnya. Generator penguatan sendiri terdiri dari tiga jenis, yaitu :

- Generator penguatan seri
- Generator penguatan paralel (*shunt*)
- Generator penguatan kompon (seri dan paralel), terdiri dari:
  - Kompon pendek
  - Kompon panjang



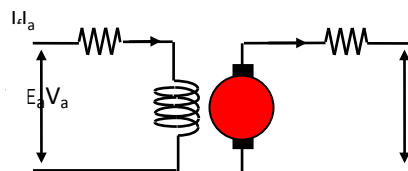
Gambar2.4 : Jenis penguatan pada generator

Tegangan pada generator penguatan sendiri timbul akibat adanya magnet sisa (remanensi). Jenis-jenis generator ini mempunyai karakteristik dan aplikasi yang berbeda-beda sesuai kebutuhan.

**2.4 Rangkaian ekuivalen generator DC**

Generator DC (dinamo DC) yang digunakan sebagai tachometer adalah dinamo DC dengan magnet permanen pada statornya sebagai penghasil fluksi. Generator dengan magnet permanen sifat yang sama dengan generator penguatan bebas (*separately excited generator*).

Rangkaian ekuivalen generator dengan penguatan bebas dapat dilihat seperti pada gambar 2.



Sesuai dengan hukum Kirchoff II, dari gambar 2.5, diperoleh:

$$V_a = E_a - I_a R_a$$

$$E = c n \phi$$

Dimana:

$V_a$  =Tegangan terminal jangkar (volt)

$I_a$  = Arus jangkar (ampere)

$E_a$  = Tegangan induksi (volt)

$R_a$  = Tahanan jangkar (ohm)

$n$  = Putaran generator (rpm)

$\phi$  = Fluksi medan (weber)

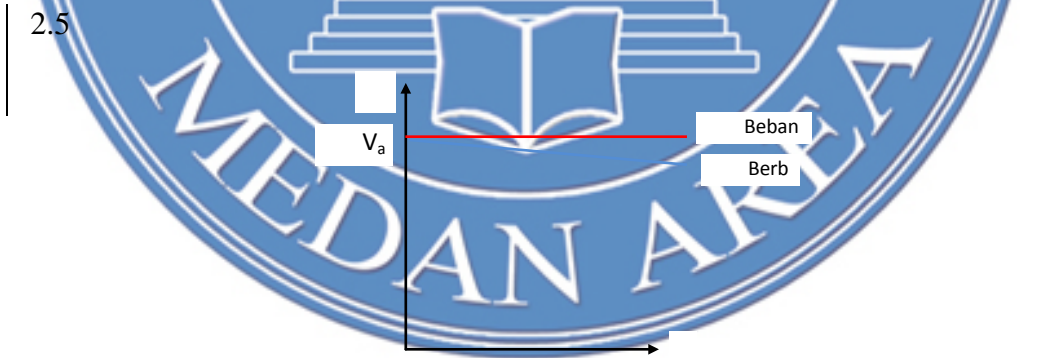
$c$  = Konstanta

Sehingga :

$$V_a = c n \phi - I_a R_a \dots\dots\dots(2.3)$$

Oleh karena tegangan induksi  $E_a$  tidak tergantung pada arusjangkar  $I_a$ , tegangan jangkar  $V_a$  merupakan garis lurus. Bila generator DC dibebani, maka akan timbul tegangan jatuh  $I_a R_a$  sehingga tegangan  $V_a$  akan berkurang. Karakteristik pembebanan pada generator DC dapat dilihat seperti pada gambar

2.5



Gambar 2.6 : Karakteristik  $V_a$  vs  $I_f$  beban nol dan berbeban

### 2.5 Motor DC

Mesin DC yang sama dapat dioperasikan sebagai motor ataupun generator.

Keuntungan penggunaan motor arus searah antara lain:

- a. Pengaturan putaran dapat dilakukan dengan mudah
- b. Mempunyai torsi yang besar

c. Dapat dibuat dengan kapasitas/fisik yang kecil hingga kapasitas yang besar  
Seperti halnya pada generator DC, ditinjau dari segi pemberian arus eksitasi motor

DC dapat diklasifikasikan sebagai:

- a. Generator penguatan bebas.
- b. Generator penguatan sendiri.
- Motor penguatan seri
- Motor penguatan paralel (*shunt*)
- Motor penguatan kompon (seri dan paralel), terdiri dari:
  - Kompon panjang
  - Kompon pendek

### 2.6 Rangkaian ekivalen motor DC

Karena motor DC mempunyai bentuk fisik yang sama dengan generator DC, rangkaian ekivalen motor DC sama dengan rangkaian ekivalen generator DC. Perbedaannya hanyalah pada arah arus pada jangkar motor dan generator. Tegangan induksi yang dihasilkan oleh arus medan pada motor adalah :

$$E_a = c n \phi \dots\dots\dots(2.4)$$

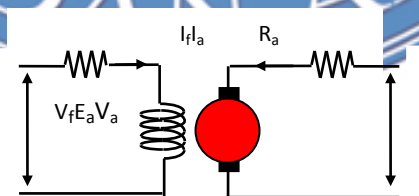
Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh motor:

$$T = K \phi I_a \dots\dots\dots(2.5)$$

Atau :

$$T \approx I_f I_a$$

Rangkaian ekivalen motor DC penguatan bebas dapat dilihat seperti pada gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.7: Rangkaian ekivalen motor DC penguatan bebas

Sesuai dengan hukum Kirchoff II, dari gambar 2.7, diperoleh:

$$V_a = E_a + I_a R_a$$

$$E = c n \phi$$

Dimana:

$V_a$  = Tegangan terminal jangkar (volt)

$I_a$  = Arus jangkar (ampere)

$E_a$  = Tegangan induksi (volt)

$R_a$  = Tahanan jangkar (ohm)

$n$  = Putaran motor (rpm)

$\phi$  = Fluksi medan (weber)

$c$  = Konstanta

Sehingga :

$$V_a = c n \phi + I_a R_a \dots\dots\dots (2.6)$$

$$n = \frac{V_a - I_a R_a}{c \phi} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dari persamaan yang terakhir dapat dilihat bahwa pengaturan putaran pada motor DC dapat dilakukan dengan mengatur :

- a. Tegangan ( $V_a$ ) dan arus jangkar ( $I_a$ )
- b. Arus ekistasi atau arus medan ( $I_f$ )

### 2.7 Tachometer

Tachometer adalah suatu alat pengukuran yang dibuat untuk mengukur kecepatan putaran pada suatu objek yang berputar. Tachometer berasal dari bahasa Yunani yaitu tachos yang berarti kecepatan dan metron yang berarti alat ukur. Alat pengukur putaran mesin yang biasanya disebut tachometer rpm ini, sebelumnya dibuat dengan jarum (*pointer*) yang menunjukkan pembacaan rpm. Pada saat ini seiring dengan kemajuan teknologi dikembangkan tachometer digital yang memberikan pembacaan dalam bentuk angka numerik yang akurat yang hasilnya ditampilkan pada layar LCD.

Jenis tachometer antara lain:

- Tachometer kontak langsung (*direct contact tachometer, touch tachometer*). Tachometer jenis ini mengharuskan sensor pada alat ini menyentuh langsung pada benda yang berputar. Dalam pengaplikasiannya tachometer jenis



jarang digunakan pada bidang-bidang tertentu, karena alasan teknis dan keselamatan.

- Tachometer elektrik adalah suatu alat yang dapat mengukur putaran atau rpm dari motor atau generator dengan memakai energi listrik. Secara teoritis tegangan yang dibangkitkan pada generator berbanding lurus dengan putaran poros generator. Jenis-jenis tachometer elektrik :

a. Tachometer DC yang menggunakan generator/motor DC yang kecil dengan magnet permanent sebagai sumber medan magnet (eksitasi).

DC tachometer ini merupakan generator DC yang dapat menghasilkan energi listrik dari perubahan medan magnet. Output generator DC dari perangkat ini berkisar antara 2 sampai 10 volt per 1.000 putaran/menit. Untuk menunjukkan banyaknya putaran, nilai tegangan (volt) kemudian dikalibrasi dalam besaran putaran per menit. Pada umumnya generator DC yang digunakan sebagai tachometer adalah jenis generator DC dengan magnet permanen.

b. Tachometer AC yang menggunakan alternator dengan magnet permanent sebagai sumber medan magnet (fluksi).

Generator AC atau alternator AC dapat menghasilkan arus bolak-balik. Sebuah magnet permanen yang berputar dan kumparan stasioner adalah elemen utama pada tachometer AC. Tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh perangkat ini sebanding dengan kecepatan rotasi. Contoh sederhana dari alternator seperti ini adalah dinamo sepeda.



Gambar 2.8 Dinamo sepeda

c. Eddy current tachometer

Pada tachometer jenis ini, arus listrik dihasilkan oleh sebuah konduktor yang diletakkan berdekatan dengan medan magnet yang bervariasi, yang dikenal

sebagai eddy-current (arus eddy). Tachometer jenis ini banyak digunakan untuk mengukur kecepatan pesawat terbang.

- Tachometer optik yang menggunakan sinar laser dan photo transistor. Pada jenis ini memungkinkan melakukan pengukuran dari jarak jauh. Laser dan photo tachometer bekerja dengan alat sensor cahaya yang sangat sensitif terhadap elemen berputar. Unsur berputar akan memiliki satu tempat reflektif dan rpm meter ini mengukur tingkat dimana berkas cahaya dipantulkan kembali.

Keuntungan tachometer elektrik:

- Tidak memerlukan sumber daya seperti batere pada *non contact tachometer*
- Mempunyai sensitivitas yang tinggi dibandingkan dengan tachometer analog
- Dapat mengukur rpm mulai dari yang rendah sampai tinggi
- Dapat mengukur rpm sesaat (*instantaneous speed measurement*).
- Tidak memerlukan rangkaian sensor seperti sensor cahaya (*encoder or light beam sensors*)

Kelemahannya adalah perlu perawatan pada bagian yang berputar, misalnya perawatan sikat (*brush*) pada tachometer dari generator DC

**Penggunaan tachometer:**

- Untuk mengukur rpm motor dan generator
- Dapat digunakan sebagai alat pendeteksi rpm (*setting or limiting the speed*)
- Dapat digunakan sebagai sistem umpan balik (*feedback*), misalnya pada penggunaan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) pada sistem eksitasi generator.
- Dalam dunia medis seperti pada *Haematachometer* dalam arteri atau vena untuk mengukur laju aliran darah