

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. Umum

Seperti telah diketahui bahwa mesin arus searah terdiri dari dua bagian, yaitu :

- Generator arus searah, dan
- Motor arus searah.

Ditinjau dari konstruksinya, kedua mesin ini adalah sama. Perbedaannya terletak pada arah arus dan jenis energi yang dipergunakannya. Kalau generator arus searah mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik, sedangkan motor arus searah mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanik.

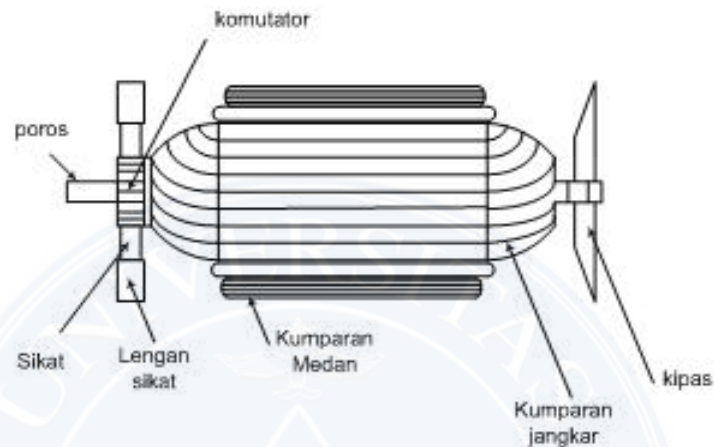
Dalam kehidupan sehari-hari motor arus searah dapat dilihat pada motor starter mobil, pada tape recorder, pada mainan anak-anak dan sebagainya. Sedangkan pada pabrik-pabrik, motor arus searah dijumpai pada traksi, elevator, conveyor dan lain-lain.

Antara generator arus searah dan motor arus searah tidak ada perbedaan pada konstruksinya, sehingga pada prinsipnya motor arus searah dapat dipakai sebagai generator arus searah, dan sebaliknya generator arus searah dapat pula dipakai sebagai motor arus searah.

Dengan sendirinya generator arus searah yang dimaksud bukanlah generator arus searah yang menggunakan penyearah (rectifier) silikon/ diode, tetapi dengan penyearah mekanik (komutator).

II.2. Konstruksi motor arus searah

Secara umum mesin arus searah memiliki konstruksi yang terbagi atas dua bagian, yaitu bagian yang diam yaitu stator dan bagian bergerak atau berputar yaitu rotor. Gambar 2.1 di bawah ini adalah konstruksi motor arus searah.



Gambar 2.1. Konstruksi Motor Arus Searah

Dari gambar 2.1 di atas konstruksi mesin arus searah terdiri dari :

1. Rangka (badan motor)

Rangka motor arus searah berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan sebagian besar komponen mesin. Untuk itu rangka harus dirancang memiliki kekuatan mekanis yang tinggi untuk mendukung komponen– komponen mesin.

Karena selain sebagai sarana pendukung mekanis bagi mesin, rangka juga berfungsi sebagai tempat mengalirkan fluksi yang dihasilkan oleh kutub – kutub medan, maka rangka dibuat dengan menggunakan bahan ferromagnetik yang permeabilitas tinggi. Rangka biasanya terbuat dari baja tuang (cast steel) atau baja lembaran (rolled steel) yang berfungsi sebagai penopang mekanis dan juga sebagai bagian dari rangkaian magnet. Untuk itu rangka harus dilaminasi untuk mengurangi rugi – rugi besi.

2. Pole (kutub)

Kutub – kutub medan terdiri atas inti kutub dan sepatu kutub. Inti kutub dibuat dari laminasi pelat – pelat baja yang terisolasi satu sama lain dan direkatkan bersama – sama kemudian dibaut pada rangka. Pada inti kutub ini dibelitkan kumparan medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi magnetik.

Sepatu kutub yaitu permukaan dari kutub yang berdekatan dengan celah udara dibuat lebih besar dari badan ini. Sepatu kutub ini berfungsi untuk menahan kumparan medan ditempatnya dan menghasilkan distribusi fluksi yang lebih baik yang tersebar diseluruh jangkar dengan menggunakan permukaannya yang melengkung.

Fungsi dari sepatu kutub adalah :

1. Menyebarkan fluksi pada celah udara, dan
2. Sebagai pendukung mekanis bagi kumparan medan.

3. Kumparan medan

Kumparan medan merupakan susunan konduktor terbuat dari kawat tembaga yang berbentuk bulat ataupun persegi dan dibelitkan pada inti kutub. Kumparan pada setiap kutub dihubungkan secara seri untuk membentuk rangkaian medan. Rangkaian medan inilah yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi magnet. Rangkaian medan dapat dihubungkan secara seri ataupun paralel dengan kumparan jangkar, juga dapat dihubungkan tersendiri langsung kepada sumber tegangan, sesuai dengan jenis penguatan pada motor. Banyaknya belitan pada setiap kutub tergantung hubungan kumparan medan terhadap kumparan jangkar.

4. Celah udara

Celah udara merupakan ruang atau celah antara permukaan jangkar dengan permukaan kutub - kutub medan yang menyebabkan jangkar tidak bergesekan dengan kutub – kutub medan. Fungsi dari celah udara ini adalah sebagai tempat mengalirnya fluksi yang dihasilkan oleh kutub – kutub medan.

Celah udara ini diusahakan agar sekecil mungkin. Semakin besar celah udara, maka akan menghasilkan reluktansi yang tinggi, sedangkan celah udara yang kecil menyebabkan reluktansi yang kecil, sehingga semakin kecil celah udara dapat meningkatkan efisiensi motor.

5. Jangkar

Umumnya jangkar yang digunakan dalam motor arus searah adalah berbentuk selinder dan diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya GGL lawan. Seperti halnya pada inti kutub magnet, maka jangkar dibuat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas yang terbentuk karena adanya arus liar (eddy current). Bahan yang digunakan jangkar ini sejenis campuran baja silikon.

6. Kumparan jangkar

Kumparan jangkar pada motor arus searah merupakan tempat dibangkitkannya ggl induksi. Jenis – jenis konstruksi kumparan jangkar pada rotor ada 3 macam, yaitu :

1. Kumparan jerat (lap winding),
2. Kumparan gelombang (wave winding), dan
3. Kumparan kaki katak (frog-leg winding).

7. Komutator

Komutator yang digunakan dalam motor arus searah pada prinsipnya mempunyai dua bagian yaitu :

1. Komutator bar merupakan tempat terjadinya gesekan antara komutator dengan sikat-sikat.
2. Komutator riser merupakan bagian yang menjadi tempat hubungan komutator dengan ujung dari lilitan jangkar.

8. Sikat

Fungsi utama dari sikat-sikat adalah untuk jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar dengan sumber tegangan. Disamping itu sikat-sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Agar gesekan antara komutator-komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator, maka bahan sikat lebih lunak dari komutator. Biasanya dibuat dari bahan arang (coal).

II.3. Motor arus searah

Motor arus searah adalah suatu mesin yang mengkonversikan energi listrik arus searah menjadi energi mekanis, dimana outputnya menghasilkan torsi dan kecepatan. Secara garis besar motor arus searah terdiri dari dua bagian, yaitu : Bagian stator dan bagian rotor.

Bagian- bagian stator terdiri atas :

1. Yoke

Yoke merupakan badan motor arus searah terbuat dari besi tuang dan berguna sebagai penyokong kutub magnet serta melindungi bagian dalam mesin.

2. Inti kutub dan sepatu kutub (ujung laminasi)

Inti kutub terdiri dari laminasi – laminasi besi yang tebalnya 0.5 mm – 1 mm dan mempunyai permeabilitas yang baik. Laminasi – laminasi itu di persatukan dengan cara dikeling. Sepatu kutub gunanya untuk memperlebar fluksi magnetik sehingga meliputi daerah dari celah – celah udara dan permukaan inti jangkar.

3. Kumparan medan

Kumparan medan bila diberi arus penguatan akan menghasilkan fluksi utama dalam celah – celah udara antara stator dan rotor, dan lilitan fluksinya menjadi penuh melalui besi dan stator.

4. Sikat

Sikat berfungsi untuk mengalirkan arus ke kumparan jangkar (armature) melalui komutator. Biasanya terbuat dari karbon dan berbentuk segi empat.

Bagian- bagian rotor terdiri atas :

1. Komutator

Komutator terdiri dari lamel- lamel merupakan lapisan- lapisan tembaga tipis satu sama lain disekat oleh isolasi yang baik dan masing- masing dihubungkan pada ujung konduktor dari kumparan jangkar. Gunanya untuk mengalirkan arus melalui sikat- sikat dari sumber tegangan.

2. Jangkar

Jangkar terdiri dari inti jangkar dan kumparan jangkar, terdiri dari laminasi- laminasi yang mempunyai alur (slot) dan gigi serta berlubang untuk saluran pendingin. Kumparan jangkar disebut juga kumparan tenaga, dengan adanya

imbas arus yang mengalir menimbulkan reaksi utama. Dengan demikian, timbullah gaya kopel dan daya mesin.

II.4. Prinsip motor arus searah

Apabila arus searah dialirkan melalui sikat ke kumparan jangkar dari motor arus searah dan kumparan medan diberi penguatan, maka akan timbul gaya Lorentz pada tiap sisi kumparan jangkar. Besarnya gaya Lorentz ini adalah berbanding lurus dengan kecepatan fluks ($B = \text{Weber/ m}^2$), panjang sisi kumparan ($L = \text{meter}$) dan arus yang mengalir ($I = \text{Ampere}$).

Secara matematis dapat dituliskan :

$$F = B \times I \times L \quad (\text{newton}) \quad \dots\dots(2.1)$$

Gaya Lorentz (F) ini menimbulkan torsi ($T = \text{Newton meter}$) yang menyebabkan jangkar berputar. Besar torsi yang dihasilkan gaya Lorentz tersebut adalah :

$$T = F \times R \quad (\text{Newton meter}) \quad \dots\dots(2.2)$$

Dimana : $R = \text{Jari – jari rotor (radius jangkar)}$

Torsi ini dalam medan magnet menyebabkan jangkar berputar, dengan adanya komutator arah arus dalam kumparan jangkar yang ada di bawah kutub sepatu menuju arah yang sama, sehingga torsi yang dihasilkan searah pula.

Jangkar berputar akan memotong medan magnet sehingga menimbulkan ggl padanya. Ggl ini berlawanan arahnya dengan arah tegangan terminal, ggl lawan ini (E_b) besarnya adalah :

$$E_b = K \Phi n \quad (\text{Volt}) \quad \dots\dots(2.3)$$

$$K = \frac{P.Z}{a..60} = \text{konstanta mesin} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

a = Jumlah lintasan paralel melalui lilitan jangkar

P = Jumlah kutub

Z = Jumlah keseluruhan konduktor pada lilitan jangkar

n = kecepatan motor dalam rpm

Besarnya kerja yang dapat dihasilkan motor secara umum dapat dilihat dari persamaan di bawah ini :

$$E_a = E_b + I_a \cdot R_a \quad (\text{Volt}) \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$E_a = K \Phi n + I_a \cdot R_a \quad (\text{Volt}) \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

$$n = \frac{E_a - I_a \cdot R_a}{k\Phi} \quad (\text{rpm}) \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

E_a = Tegangan terminal jangkar (Volt)

I_a = Arus jangkar (Ampere)

E_b = GGL lawan (EMF back) (Volt)

R_a = Tahanan jangkar (Ohm)

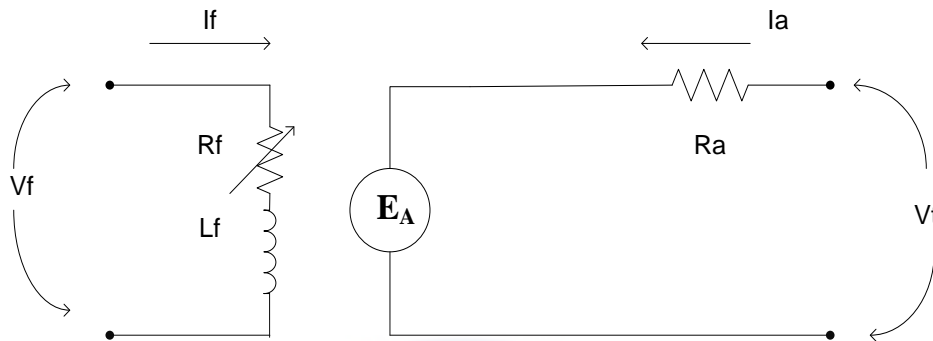
Φ = Fluksi per kutub (Weber)

V_t = Tegangan terminal (Volt)

II.4.1. Motor arus searah penguatan terpisah

Motor DC penguatan terpisah adalah motor yang mendapatkan arus penguatan medan dari luar motor. Dimana karakteristik keluaran motor sama

dengan motor shunt. Rangkaian ekivalen dari motor dc penguatan terpisah seperti terlihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2. Rangkaian Ekivalen Motor DC Penguatan Terpisah

Dari persamaan hukum tegangan Kirchoff untuk motor DC penguatan terpisah adalah :

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \quad (\text{Volt}) \quad \dots\dots(2.8)$$

$$E_a = K \Phi n \quad (\text{Volt})$$

$$V_t = K \Phi n + I_a \cdot R_a \quad (\text{Volt}) \quad \dots\dots(2.9)$$

Torsi motor :

$$T = K \Phi I_a \quad (\text{Newton meter}) \quad \dots\dots(2.10)$$

$$I_a = \frac{T}{k\Phi} \quad (\text{Ampere}) \quad \dots\dots(2.11)$$

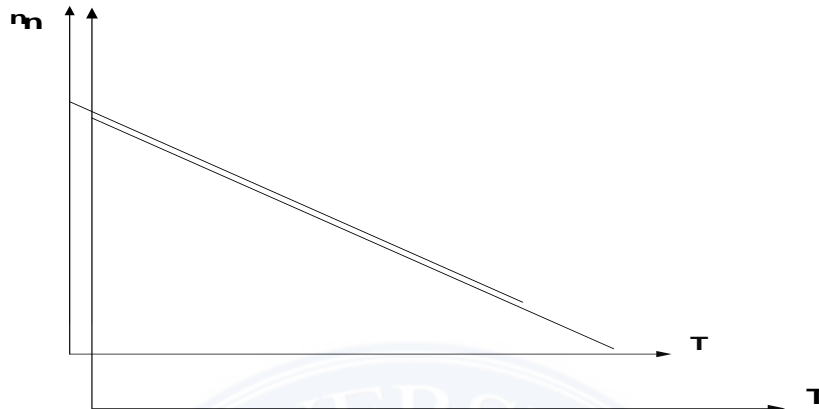
Dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) kepersamaan (2.4) didapat :

$$V_t = K\Phi n + \frac{T}{k\Phi} R_a \quad \dots\dots(2.12)$$

Kecepatan motor adalah :

$$n = \frac{V_t}{k\Phi} - \frac{R_a}{(K\Phi)^2} T \quad (\text{rpm}) \quad \dots\dots(2.13)$$

Karakteristik torka kecepatan motor DC penguatan terpisah seperti terlihat pada gambar di bawah ini :

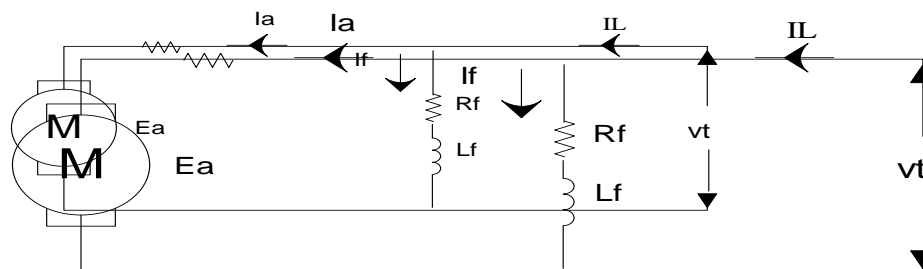


Gambar 2.3. Karakteristik Torka Kecepatan Motor DC Penguatan Terpisah

II.4.2. Motor arus searah shunt

Motor DC shunt adalah motor yang mendapat arus penguatan dari dalam motor itu sendiri, dihubungkan secara shunt. Karakteristik torsi kecepatan sama seperti pada motor DC penguatan terpisah. Rangkaian ekivalen dari motor DC shunt dapat dilihat pada gambar 2.4.

Motor DC shunt memiliki kecepatan yang hampir konstan pada tegangan terminal jangkar (V_t) konstan, walaupun terjadi perubahan beban, sering digunakan untuk kipas angin, blower, pompa sentrifugal, elevator, mesin cetak dan lain- lain.



Gambar 2.4. Rangkaian Ekivalen Motor DC Shunt

Persamaan tegangan hukum Kirchoff untuk motor DC shunt adalah :

$$V_t = E_a - I_a \cdot R_a \quad \text{.....(2.14)}$$

$$I_a = I_L - I_f \quad (\text{Ampere}) \quad \text{.....(2.15)}$$

Dimana :

I_L = Arus yang ditarik oleh beban

I_f = Arus medan penguatan

Torsi motor :

$$T = K \Phi n \quad (\text{Newton meter})$$

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a}$$

Kecepatan motor :

$$n = \frac{V_t}{K\Phi} - \frac{R_a}{(K\Phi)^2} T \quad (\text{rpm}) \quad \text{.....(2.16)}$$

Karakteristik torka kecepatan motor DC shunt seperti terlihat pada gambar di bawah ini.

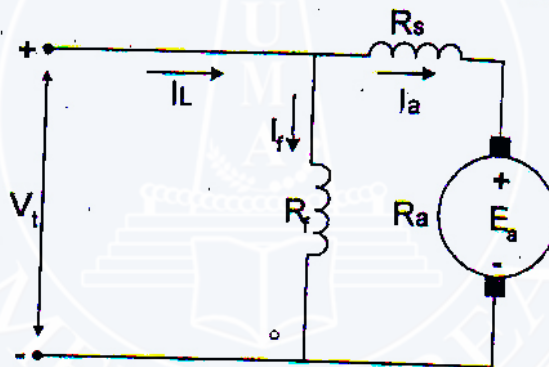


Gambar 2.5. Karakteristik Torka Kecepatan Motor DC Shunt

II.4.3. Motor arus searah seri

Motor DC seri adalah motor yang mendapatkan arus penguatan medan dari dalam motor itu sendiri, dimana dihubungkan secara seri. Rangkaian ekivalen dari motor DC seperti terlihat pada gambar 2.6.

Motor DC seri dapat memberikan momen yang besar waktu start dengan arus yang kecil. Kecepatan motor seri akan menurun pada saat beban ditambahkan dan kecepatan akan bertambah besar pada beban rendah atau tanpa beban, dan hal ini sangat berbahaya. Untuk kecepatan tanpa bebannya biasanya tidak boleh tinggi. Dengan mengetahui sifat ini, motor seri paling baik digunakan untuk mesin pengangkat dan beban- beban jenis traksi.



Gambar 2.6. Rangkaian Ekivalen Motor DC Seri

Persamaan Hukum Kirchoff untuk motor DC seri adalah :

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s) \text{ (volt)} \quad \dots\dots(2.17)$$

$$I_L = I_a + I_f \quad \text{(Ampere)} \quad \dots\dots(2.18)$$

Torsi motor :

$$T = K \Phi I_a \quad \text{(Newton meter)}$$

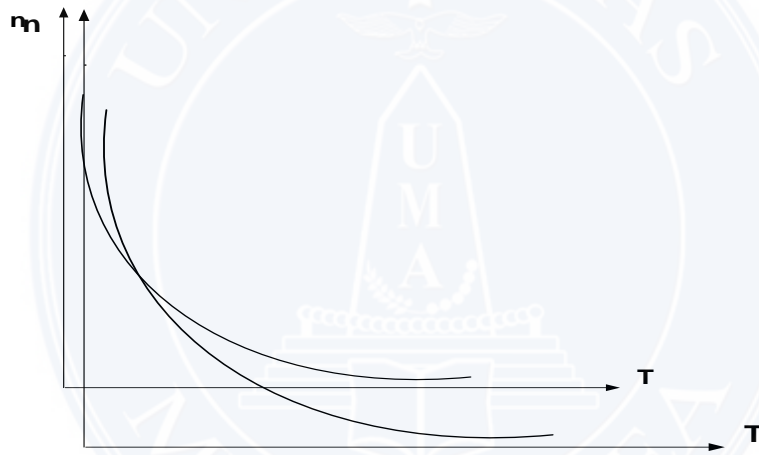
Kecepatan motor :

$$n = \frac{V_t}{K\Phi} - \frac{I_a(R_a + R_s)}{K\Phi}$$

$$I_a = \frac{T}{K\Phi}$$

$$n = \frac{V_t}{K\Phi} - \frac{(R_a + R_s)}{(K\Phi)^2} T \text{ (rpm)} \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

Karakteristik torsi kecepatan motor DC seri seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.7. Karakteristik Torsi Kecepatan Motor DC Seri

II.5. Operasi motor arus searah

Operasi – operasi yang penting dari motor arus searah adalah :

1. Menjalankan motor arus searah (starting), dan
2. Mengatur putaran motor arus searah.

Motor arus searah umumnya dijalankan dengan cara :

1. Dengan mengatur besarnya tegangan masuk atau tegangan sumber,
2. Dengan mengatur besarnya tahanan mula pada rangkaian jangkar,

3. Dengan menghubungkan langsung pada jala – jala, dan
4. Dengan mengatur besarnya arus medan penguatan.

Untuk motor - motor DC yang kapasitasnya cukup besar, waktu menjalankannya tidak dapat dihubungkan langsung dengan sumber DC. Hal ini disebabkan tahanan jangkar relatif rendah. Sehingga apabila dihubungkan langsung dengan sumber DC akan menimbulkan arus mula yang besar, dan ini dapat mengakibatkan kerusakan pada motor.

Dari rumus :

$$V_t = E + I_a \cdot R_a$$

Dimana :

$$E = C n \Phi \quad \dots\dots(2.20)$$

Maka :

$$V = C n \Phi + I_a \cdot R_a \quad \dots\dots(2.21)$$

Waktu start, $n = 0$

Sehingga :

$$V = I_a \cdot R_a$$

$$I_a = \frac{V_t}{R_a}$$

Bila kita misalkan, $V = 100$ Volt dan $R_a = 0.1$ Ohm, maka hal ini langsung akan mengakibatkan arus mula sebesar = 1000 Ampere.

Dari rumus :

$$n = \frac{V_a - I_a \cdot R_a}{C \Phi}$$

Maka pengaturan putaran motor arus searah dapat dilakukan dengan merubah besarnya :

1. Arus penguatannya atau arus medan (Φ)
2. Tahanan pada rangkaian jangkar (R_a)
3. Tegangan masuk atau tegangan terminal (V_t)

