

Mekatronika

Modul 7

Aktuator

Hasil Pembelajaran :

Mahasiswa dapat memahami dan menjelaskan karakteristik dari Aktuator Listrik

Tujuan

Bagian ini memberikan informasi mengenai karakteristik dan penerapan Aktuator Listrik.

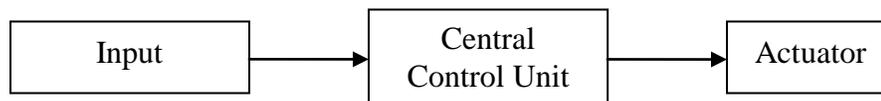
7.1 Pendahuluan

Aktuator adalah bagian yang berfungsi sebagai penggerak dari perintah yang diberikan oleh input. Aktuator terdiri dari dua jenis yaitu :

1. Aktuator Listrik dan ;
2. Aktuator Pneumatik

Pada modul bagian ini, hanya akan dijelaskan mengenai aktuator listrik.

Gambar berikut adalah skema kontrol secara umum :



Gambar 7.1. Skema kontrol

7.2 Aktuator Listrik

Aktuator listrik terdiri dari :

1. Relay
2. Motor Arus Searah (DC)
3. Motor Arus Bolak-balik (AC)

Berikut penjelasan dari jenis-jenis aktuator :

7.2.1 Relay

Relay merupakan peralatan kontrol elektomagnetik yang dapat mengaktifkan dan mematikan kontaktor.

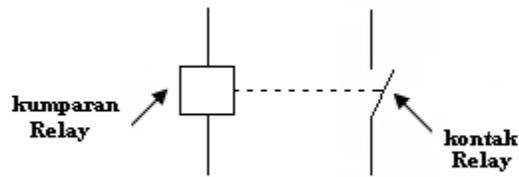
Relay sendiri merupakan kontrak elektronik, karena terdapat koil/kumparan yang akan menggerakkan kontak membuka atau menutup bila kumparannya diberi aliran arus listrik. Berikut ini adalah keuntungan dan kerugian menggunakan relay/kontaktor.

Keuntungan:

- Mudah diadaptasikan untuk tegangan yang berbeda.
- Tidak banyak dipengaruhi oleh temperatur sekitarnya. Relay terus beroperasi pada temperatur 353 K (80°C) sampai 240 K (-33°C).
- Tahanan yang relatif tinggi antara kontak kerja pada saat terbuka.
- Beberapa rangkaian terpisah dapat dihidupkan.
- Rangkaian yang mengontrol relay dan rangkaian yang membawa arus yang terhubung secara fisik terpisah satu sama lainnya.

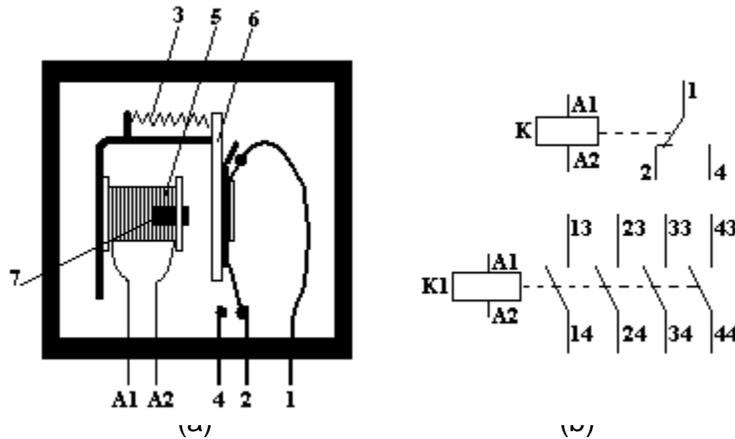
Kerugian:

- Kontak dibatasi pada keausan dari bunga api atau dari oksidasi (material kontak yang terbaik adalah platina, emas, dan perak).
- Menghabiskan banyak tempat dibandingkan dengan transistor.
- Menimbulkan bunyi selama proses kontak.
- Kecepatan kontak terbatas 3 ms sampai 17 ms.
- Kontaminasi (debu) dapat mempengaruhi umur kontak.



Gambar 7.2. Simbol umum Relay

Berikut adalah salah satu jenis Relay dan simbolnya :



Gambar 7-3. (a) Bagian Relay
(b) simbol

Kontak-kontak suatu relay terdiri dari Normal Open (NO) dan Normal Closed (NC), yang mana dalam keadaan normal / tidak bekerja bilah-bilah NO dalam keadaan terbuka dan bilah-bilah NC dalam keadaan tertutup. Tetapi bila relay dalam keadaan bekerja maka bilah-bilah NO dalam keadaan tertutup dan bilah-bilah NC dalam keadaan terbuka.

7.2.2 Motor DC

Motor arus searah (DC) ialah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus searah menjadi gerak atau energi mekanik, dimana tenaga gerak tersebut berupa putaran dari rotor.

Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip kerja suatu motor arus searah adalah suatu kumparan jangkar terdiri dari belitan dan terletak diantara kutub-kutub magnet. Kalau kumparan dilalui arus maka pada kedua sisi kumparan bekerja gaya Lorentz. Aturan tangan kiri dapat digunakan untuk menentukan arah gaya Lorentz, dimana gaya jatuh pada telapak tangan, jari-jari yang direntangkan menunjukkan arah arus, maka ibu jari yang direntangkan menunjukkan arah gaya.

Kedua gaya yang timbul merupakan sebuah kopel. Kopel yang dibangkitkan pada kumparan sangat tidak teratur, karena kopel itu berayun antara nilai maksimum dan nol. Untuk mendapatkan kopel yang relatif sama dan sama besar, dibagi sejumlah besar kumparan di sekeliling jangkar. Kumparan-kumparan itu dihubungkan dengan lamel tersendiri pada komutator, sehingga motor arus searah tidak berbeda dengan generator arus searah.

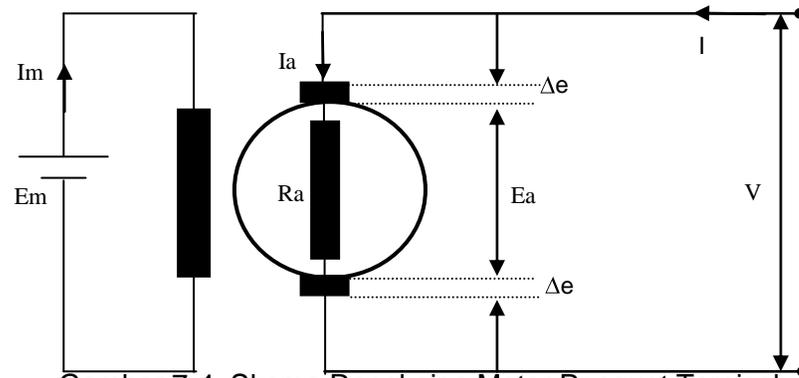
Perbedaan motor dan generator hanya terletak pada konversi dayanya. Generator adalah mesin listrik yang mengubah daya masuk mekanik menjadi daya listrik. Sedangkan motor mengubah daya masuk listrik menjadi mekanik.

Jenis Motor Arus Searah

Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, motor arus searah dapat dibedakan menjadi dua yaitu motor penguat terpisah dan motor penguat sendiri.

Motor Penguat Terpisah

Disebut motor penguat terpisah karena sumber tegangan yang digunakan untuk menyuplai lilitan penguat medan magnet adalah terpisah dari rangkaian kelistrikan motor. Agar lebih jelas perhatikan skema Gambar 7-4 sebagai berikut :



Gambar 7-4. Skema Rangkaian Motor Penguat Terpisah

Persamaan arusnya adalah : $I_m = E_m/R_m$

$$I_a = I$$

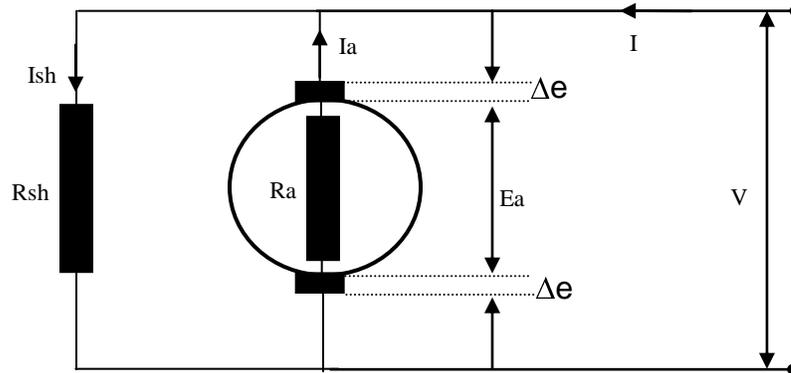
Persamaan tegangannya adalah : $E_a = V + I_a R_a$

Motor Penguat Sendiri

Dikatakan motor penguat sendiri karena sumber tagangan yang digunakan untuk menyuplai lilitan penguat medan magnet adalah menjadi satu dengan rangkaian kelistrikan motor. Ditinjau dari cara menyambung lilitan penguat medan magnetnya, terdapat beberapa jenis motor yaitu :

Motor Shunt

Motor shunt adalah motor penguat sendiri yang lilitan penguat medan magnetnya disambung paralel dengan lilitan jangkar. Pada motor ini, jumlah lilitan penguat magnet banyak, namun luas penampang kawatnya kecil. Hal ini daharapkan agar hambatan lilitan penguatnya besar. Skema rangkaiannya adalah seperti Gambar 7-5 berikut :



Gambar 7-5. Skema Rangkaian Motor Shunt

Persamaan arusnya adalah :

$$I_a = I + I_{sh} ,$$

$$I_{sh} = V_{sh}/R_{sh}$$

Persamaan tegangannya adalah :

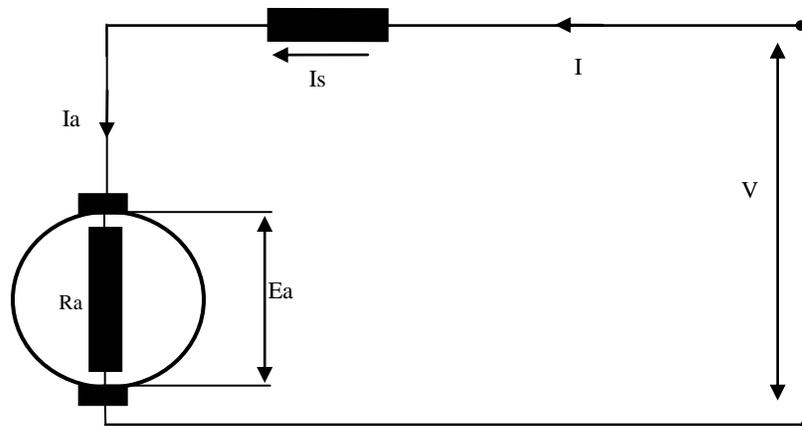
$$E_a = V + I_a R_a$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh}$$

$$V = V_{sh}$$

Motor Seri

Motor seri adalah motor arus searah yang lilitan penguat medan magnetnya disambung seri dengan lilitan jangkar. Pada motor ini, jumlah lilitan penguat magnet sedikit, namun luas penampang kawatnya besar. Hal ini diharapkan agar hambatan lilitan penguatnya kecil. Skema rangkaianannya dapat dilihat seperti Gambar 7-6 berikut :



Gambar 7-6. Skema Rangkaian Motor Seri

Persamaan arusnya adalah : $I_a = I_s = I$

Persamaan Tegangannya adalah : $E_a = V + I_a R_a + I_s R_s$

E_m = Sumber tegangan pada lilitan penguat magnet pada motor penguat terpisah

E_a = GGL lawan motor

V = Tegangan terminal motor

I_a = Arus jangkar

I_s = Arus pada lilitan penguat magnet seri

I_{sh} = Arus pada lilitan penguat magnet shunt

I = Arus dari sumber yang masuk ke motor

R_a = Hambatan pada lilitan jangkar

R_{sh} = Hambatan pada lilitan penguat magnet shunt

R_s = Hambatan pada lilitan penguat magnet seri

R_m = Hambatan pada lilitan penguat magnet motor penguat terpisah

Besarnya GGL lawan

Besarnya ggl lawan pada lilitan jangkar dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$E_a = P\Phi (n/60) (Z/A) \text{ volt}$$

$$E_a = C_1 n \Phi$$

Keterangan :

E_a = ggl lawan yang dibangkitkan oleh lilitan jangkar (volt)

P = Jumlah kutub

n = jumlah putaran rotor (rpm)

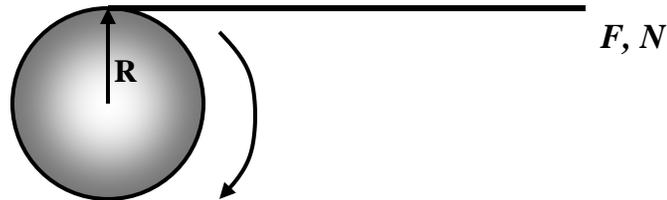
Z = Jumlah penghantar total lilitan jangkar

Φ = Jumlah garis-garis gaya magnet tiap kutub (Weber)

A = Jumlah cabang paralel lilitan jangka

Torsi Motor

Untuk mengetahui besarnya torsi yang dihasilkan oleh motor listrik arus searah dapat dilakukan analisis sebagai berikut (perhatikan Gambar 7-7)



Gambar 7-7. Gaya yang Dihasilkan pada Sebuah Kumputan

Berdasarkan Gambar 7-7 di atas persamaan untuk Torsi adalah

$$T = F \times R \text{ Nm}$$

Terdapat suatu rumus :

$$\text{Usaha} = \text{Gaya} \times \text{Jarak}$$

Jika jarak yang ditempuh merupakan suatu bentuk lingkaran seperti Gambar 7-7 di atas, maka :

$$\text{Usaha} = F \times 2\pi R \text{ Joule}$$

Misal poros berputar n putaran tiap detik, maka :

$$\begin{aligned} \text{Usaha/detik} &= F \times 2\pi R \times n \text{ Joule/detik} \\ &= F \times R \times 2\pi n \text{ Joule/detik} \\ &= T \times \omega \text{ Joule/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Daya} = T \times \omega \text{ Watt}$$

Untuk n = jumlah putaran tiap menit, maka $\omega = (2\pi n/60)$

Dapat juga dituliskan bahwa :

$$T = P / (2\pi n/60) \text{ Nm}$$

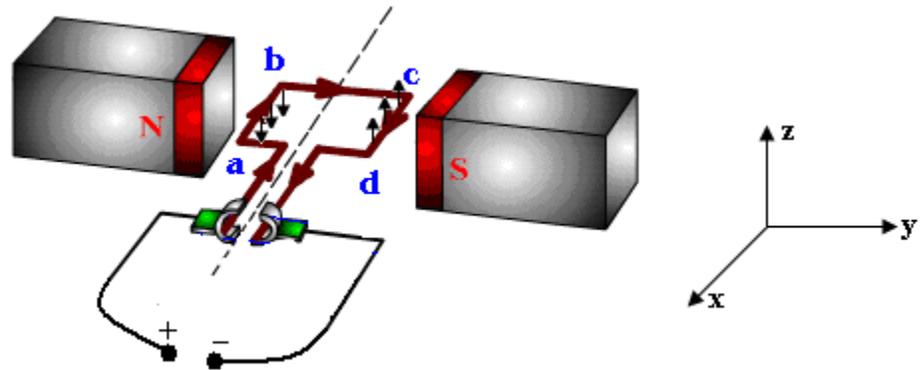
Berdasarkan rumus di atas : $T_a = P_a / (2\pi n/60) \text{ Nm}$ atau $T_a = E_a \times I_a / (2\pi n/60) \text{ Nm}$

$$T_a = P \Phi (n/60) (Z/A) I_a / (2\pi n/60) \text{ Nm}$$

$$T_a = C_2 \Phi I_a$$

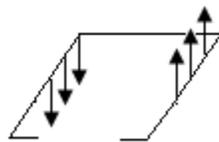
Cara Mengubah Arah Putaran Motor

Perhatikan gambar 7-8 berikut :



Gambar7-8. Prinsip kerja Motor DC

$$\begin{aligned}
 F_{ab} &= I \mathbf{l} \times \mathbf{B} \\
 &= -a^x \mathbf{l} \times a^y \mathbf{B} \\
 &= -a^z \mathbf{l} B
 \end{aligned}$$

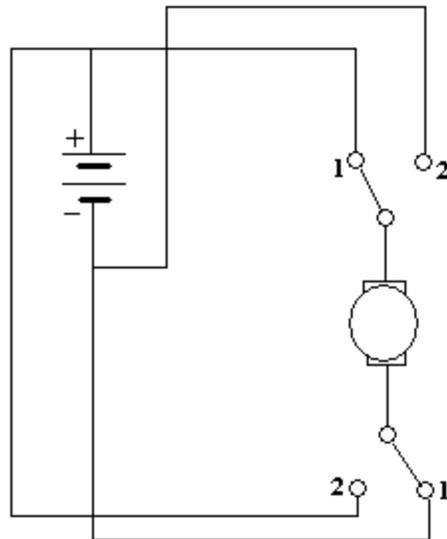


$$\begin{aligned}
 F_{cd} &= I \mathbf{l} \times \mathbf{B} \\
 &= a^x \mathbf{l} \times a^y \mathbf{B} \\
 &= a^z \mathbf{l} B
 \end{aligned}$$

Kedua gaya diatas merupakan pasangan gaya sehingga akan timbul torsi.
Bagian bc dan ad gayanya saling menghilangkan.

$$\begin{aligned}
 \vec{T} &= \vec{r} \times \vec{p} \\
 &= r B \mathbf{l}
 \end{aligned}$$

Torsi mengakibatkan benda dapat berputar dan jika ingin membalikkan putaran pada motor DC dengan cara mengubah polaritas, seperti gambar 7-9 berikut :



Gambar7-9. Cara Mengubah Putaran Motor dengan Saklar

Pada titik (1) motor bergerak atau berputar ke satu arah tertentu dan jika saklar pada titik (2) motor berputar berlawanan dengan arah semula.

7.2.3 Motor AC

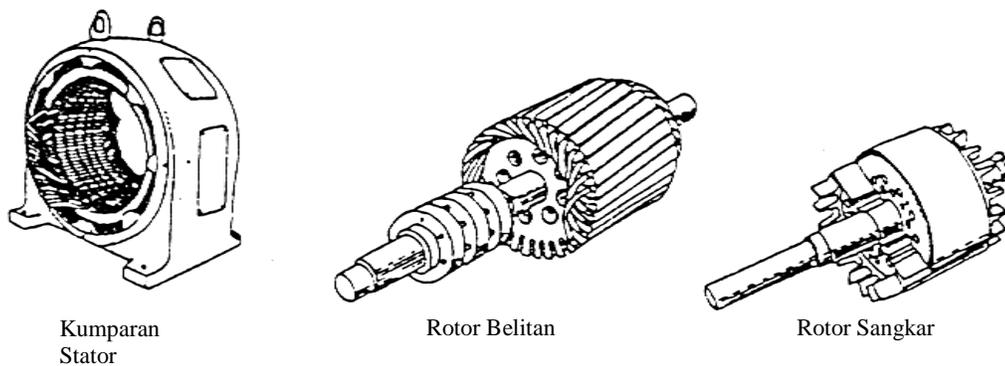
Salah satu contoh dari motor AC adalah Motor Induksi, yang terbagi menjadi dua bagian , yaitu :

1. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120f/2p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan

hukum Lenz. Rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Dikenal dua tipe motor induksi (lihat Gambar 7 -10) yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan motor induksi dengan rotor sangkar.

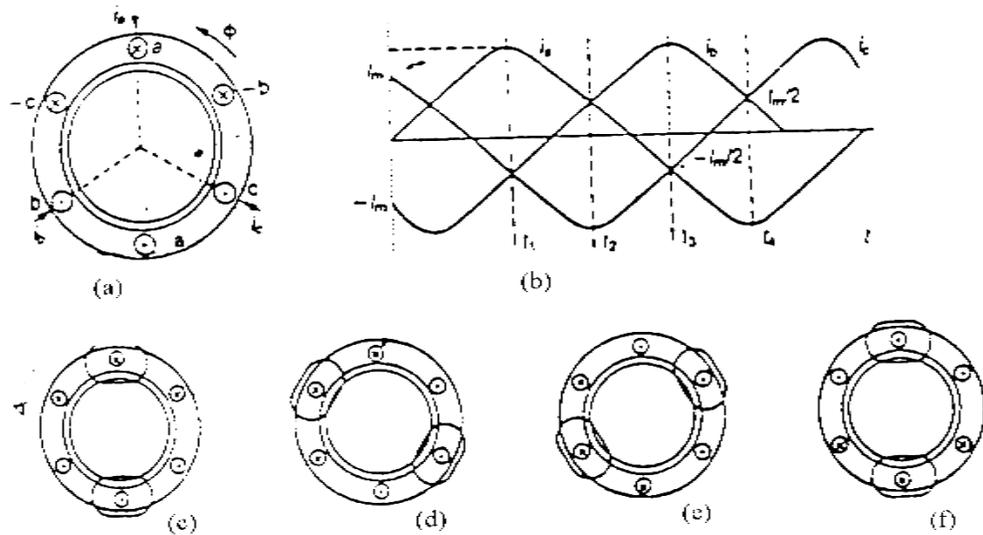


Gambar 7-10. Dua Tipe Motor Induksi Rotor Sangkar dan Rotor Belitan.

Medan Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan pada kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.

Disini akan dijelaskan bagaimana terjadinya medan putar itu. Perhatikanlah Gambar 8.



Gambar 7-11. Prinsip Terjadinya Medan Putar Pada Motor Induksi.

Misalnya kumparan a-a; b-b; c-c dihubungkan 3 fasa, dengan beda fasa masing masing 120° (Gambar7-11.a) dan dialiri arus sinusoid. Distribusi i_a , i_b , i_c , sebagai fungsi waktu adalah seperti Gambar 7-11.b. Pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 , fluks resultan yang dihubungkan oleh kumparan tersebut masing masing adalah seperti Gambar 7-11.c, d, e, dan f. Pada t_1 fluks resultan mempunyai arah samadengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan a-a; sedangkan pada t_2 , fluks resultannya dihasilkan oleh kumparan b-b. Untuk t_4 fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat t_1 . (Keterangan ini akan lebih jelas pada tinjauan vektor). Dari Gambar 7-11.c, d, e dan f tersebut terlihat bahwa fluks resultan ini akan berputar satu kali. Oleh karena itu, untuk mesin berjumlah kutub lebih dari 4, kecepatan sinkron dapat diturunkan sebagai berikut:

$$N_s = 120f/p$$

f = frekuensi

p = jumlah kutub

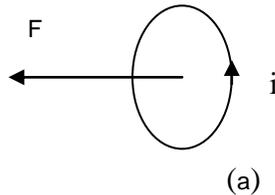
Tinjauan Vektor

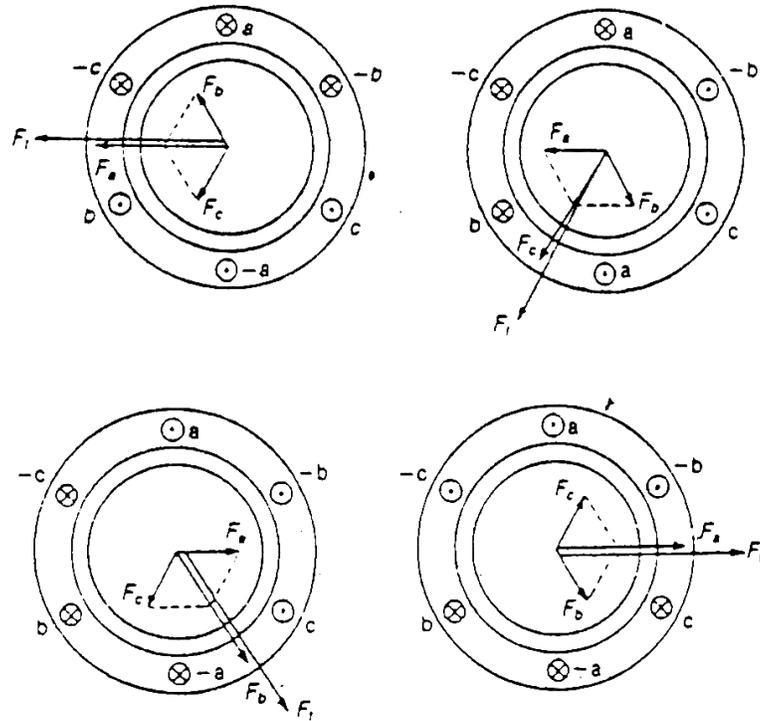
Analisis secara vektor didapatkan atas dasar:

- (1) Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran sesuai dengan perputaran sekrup (Gambar 7-12.a).
- (2) Besarnya fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arus yang mengalir.

Notasi yang dipakai untuk menyatakan positif dan negatifnya arus yang mengalir pada kumparan a-a, b-b, c-c yaitu: untuk harga positif, dinyatakan apabila tanda silang (x) terletak pada pangkal konduktor tersebut (titik a, b, c). Sedangkan negative apabila ada tanda titik (.) terletak pada pangkal konduktor tersebut (Gambar 7-12.b). Maka diagram vektor untuk fluks total pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 , t_4 dapat dilihat pada Gambar 7-12.b.

Dari semua diagram vektor diatas dapat dilihat bahwa fluks resultan berjalan (berputar).





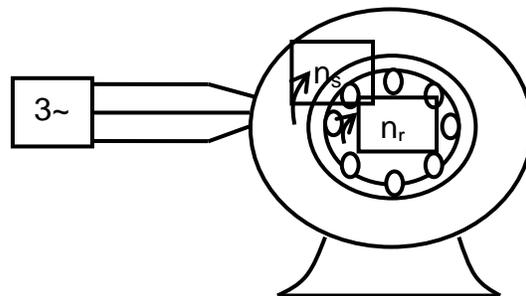
(b)

Gambar 7-12. Vektor Arah Fluks dalam Kumparan Stator.

Prinsip Kerja Motor Induksi

Adapun prinsip kerja motor induksi sebagai berikut :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 f/p$.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.



Gambar 7-13. Motor Induksi Disuplai Arus 3 Fasa.

3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl) sebesar:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 N_2 \phi_m \quad (\text{untuk satu fasa}).$$
 E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya magnet (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor yang cukup besar untuk memikul kopel beban rotot akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Seperti telah dijelaskan pada (3) tegangan induksi timbul kaerena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relative antara kecepatan medan putar stator n_s dengan kecepatan berputar roto n_r .
8. Perbedaan antara n_s dan n_r disebut slip (S) dinyatakan derngan:

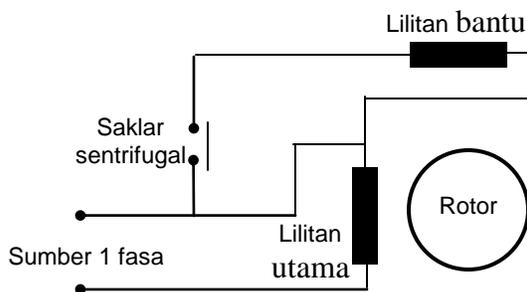
$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$
9. Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .
10. Dilihat dari kerjanya motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2. Motor Induksi 1 Fasa

Terdapat bermacam-macam motor satu fasa, yaitu yang dikategorikan motor induksi meliputi : motor fasa belah, motor kapasitor, motor kutub bayangan, motor induksi repulsi, dan sebagainya. Sedangkan motor satu fasa yang tidak dikategorikan motor induksi satu fasa adalah motor universal dan motor repulsi. Dalam praktikum kali ini akan diperkenalkan salah satu jenis motor satu fasa yaitu motor kapasitor. Tinjauan singkat masing-masing jenis motor adalah sebagai berikut :

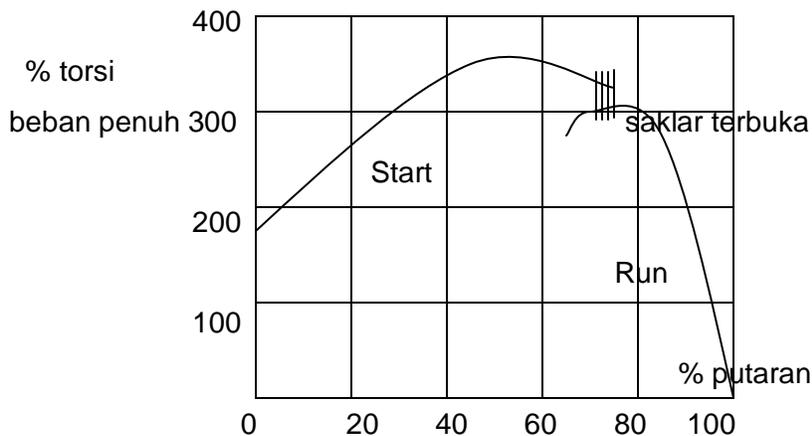
Motor Fasa belah

Untuk memperoleh putaran medan magnet stator, lilitan utama dan lilitan bantu dibuat sedemikian rupa sehingga arus yang mengalir pada masing-masing lilitan berbeda fasa. Medan magnet putar ini sangat diperlukan untuk memperoleh torsi awal yang besar.



Gambar 7-14. Skema motor induksi fasa belah

Untuk mencegah agar lilitan bantu tidak terus-menerus dialiri arus, maka pada lilitan bantu dipasang seri dengan sebuah saklar yang disebut saklar setrifugal. Apa bila putaran motor mendekati putaran nominal yaitu antara 70% - 80% putaran nominal, maka saklar sentrifugal akan memutus rangkaian lilitan bantu secara otomatis. Torsi awal yang dihasilkan sampai dengan motor berputar dengan kecepatan nominal adalah seperti Gambar 7-14.



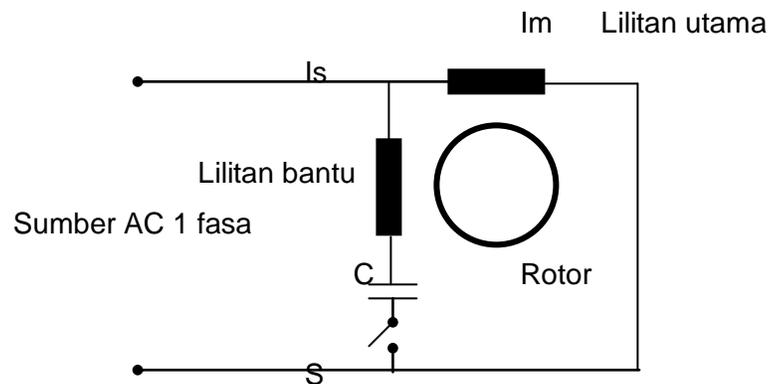
Gambar 7-15. Torsi Motor Fasa Belah Saat Start.

Motor Kapasitor

Motor kapasitor mempunyai prinsip kerja seperti motor fasa belah. Pada motor kapasitor, sebuah kapasitor dipasang seri dengan lilitan bantu dengan tujuan agar diperoleh beda fasa yang besar antara arus pada lilitan utama dan arus pada lilitan bantu. Terdapat 3 macam motor kapasitor yaitu : motor kapasitor start, motor kapasitor start dan run, dan motor kapasitor permanen.

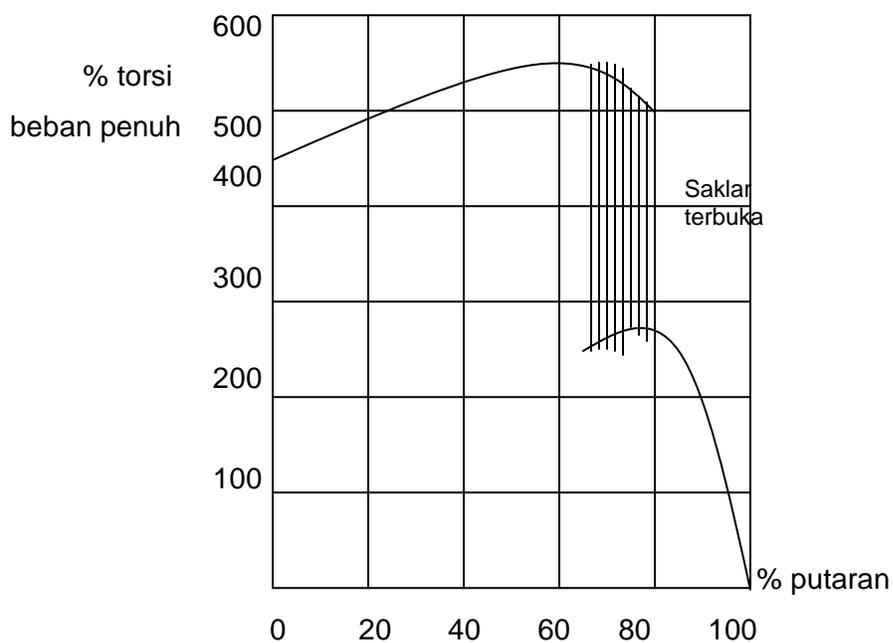
Motor Kapasitor Start

Skema rangkaian motor kapasitor start adalah seperti Gambar 7-16 berikut :



Gambar 7-16
Skema Rangkaian Motor Kapasitor Start dan Vektor Arusnya.

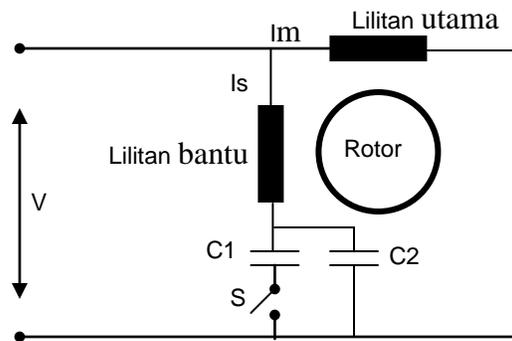
Sedangkan karakteristik $T = f(n)$ saat start adalah seperti Gambar 7-17 berikut :



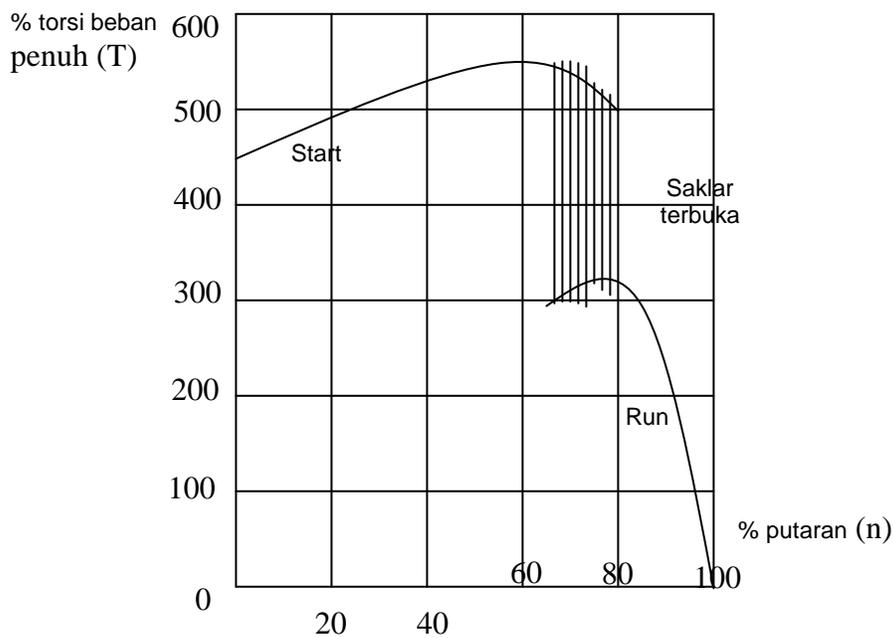
Gambar 7-17. Karakteristik $T = f(n)$ saat start

Motor Kapasitor Start dan Run

Pada motor kapasitor start dan run terdapat dua buah kapasitor yang dirangkai seperti Gambar 7-18 , sedangkan karakteristik $T = f(n)$ saat start adalah seperti Gambar 7-19 . Pada saat start, C1 dan C2 terhubung semua sehingga diperoleh beda fasa yang cukup besar antara arus pada lilitan utama dan arus pada lilitan bantu dan diperoleh torsi awal yang sangat besar. Setelah putaran motor mencapai 70% - 80% putaran nominal, kapasitor C1 terlepas namun kapasitor 2 tetap terhubung.



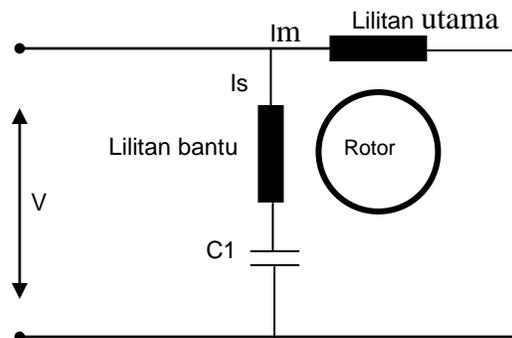
Gambar 7-18. Skema Rangkaian Motor Kapasitor Start



Gambar 7-19. Karakteristik $T = f(n)$ Saat Start.

Motor Kapasitor Permanen

Pada motor ini terdapat kapasitor yang terpasang tetap (permanen) secara seri dengan lilitan bantu. Skema rangkaian motor kapasitor permanen seperti Gambar 7-20. Karena kapasitor terpasang secara terus menerus, maka torsi yang dihasilkan baik pada saat start maupun setelah berputar nominal relatif tetap. Hal ini berarti bahwa motor ini banyak digunakan pada peralatan yang membutuhkan torsi baik awal maupun torsi saat beroperasi yang relatif tetap.



Gambar 7-20. Skema Rangkaian Motor Kapasitor Permanen

7.3 Latihan Soal

1. Jelaskan cara kerja dari Relay !
2. Berikan penjelasan dan analisa dari Motor DC Shunt !
3. Jelaskan prinsip kerja dari Mesin AC !
4. Buatlah sebuah contoh aplikasi dari Aktuator, dilengkapi dengan skema dan penjelasan cara kerjanya !