

# Mesin AC

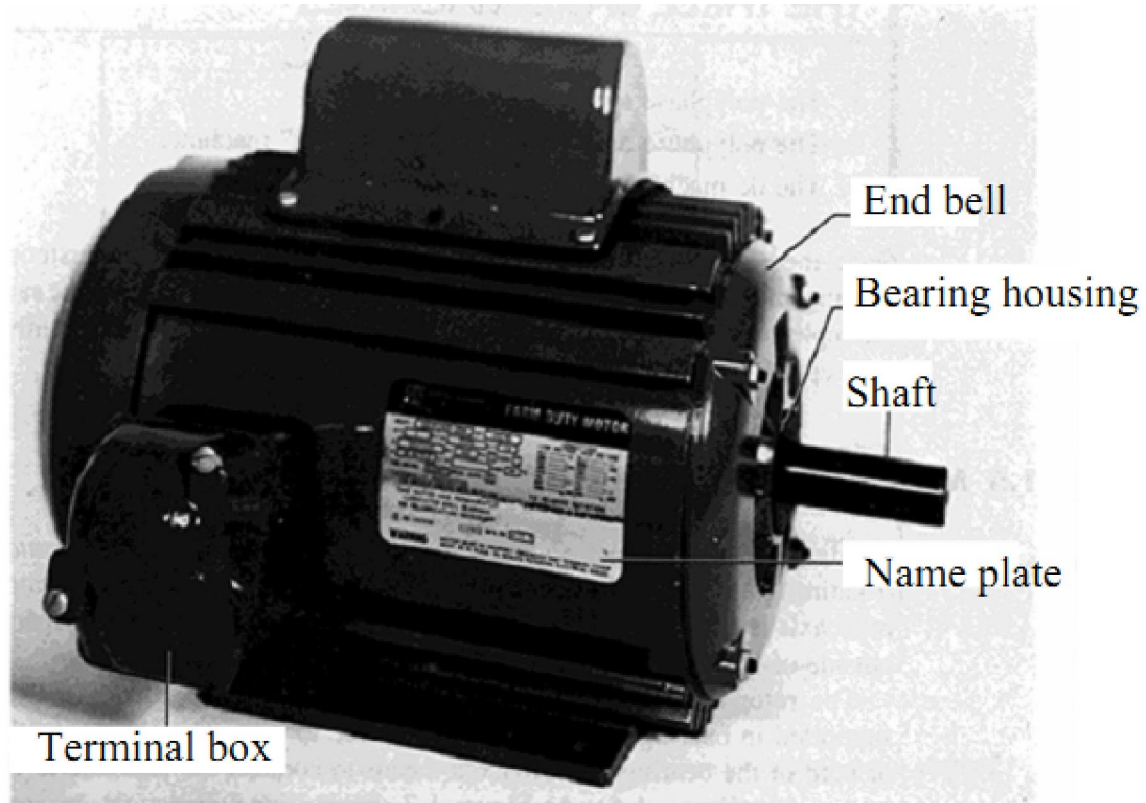
Motor Induksi

Dian Retno Sawitri

# Pendahuluan

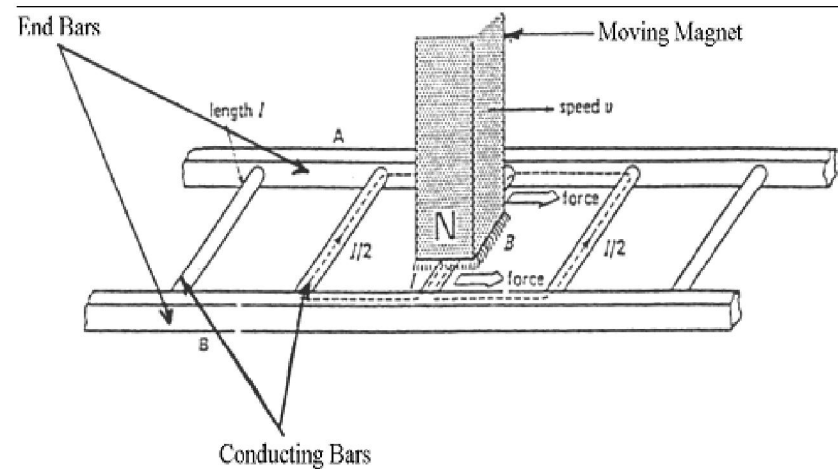
- Mesin induksi digunakan sebagai motor dan generator. Namun paling banyak digunakan sebagai motor. MI merupakan perangkat penting di industri
- Kebanyakan jenis motor yang digunakan di industri adalah motor induksi sangkar tupai.
- Ada dua jenis MI, yaitu satu fasa dan dua fasa
- Generator induksi jarang digunakan. Generator induksi biasanya dipakai pada pembangkit listrik tenaga angin.

# Motor Induksi satu Fasa



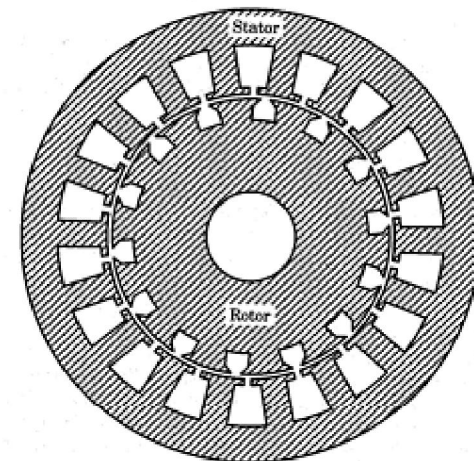
# Prinsip Dasar

- Emf diinduksikan pada batang konduktor sebagai “cut” oleh fluksi sementara magnet bergerak
- $E = BvL$  (Faraday's Law)
- Emf diinduksikan atau menghasilkan arus  $I$ , yang menghasilkan gaya,  $F$ .
- $F = BIL$  (Gaya Lorentz )

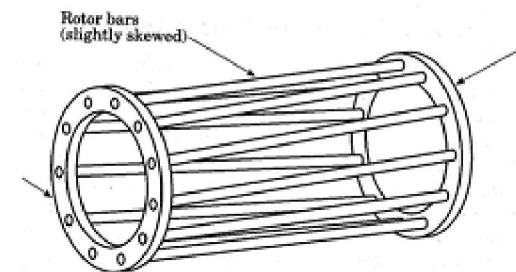


# Konstruksi

- Konstruksi Stator
  - Stator dari MI mirip dengan stator pada motor sinkron
  - Inti besi dilaminasi dengan slot-slot
  - Koil diletakkan pada slot untuk membentuk belitan 3 atau 1 fasa.
- Konstruksi rotor sangkar tupai (Squirrel-cage)
  - Inti besi terlapis dengan slot
  - Batang logam dibentuk dalam slot
  - Dua cincin hubung singkat (short circuit) dengan batang
  - Batang dimiringkan untuk mengurangi derau



(a)



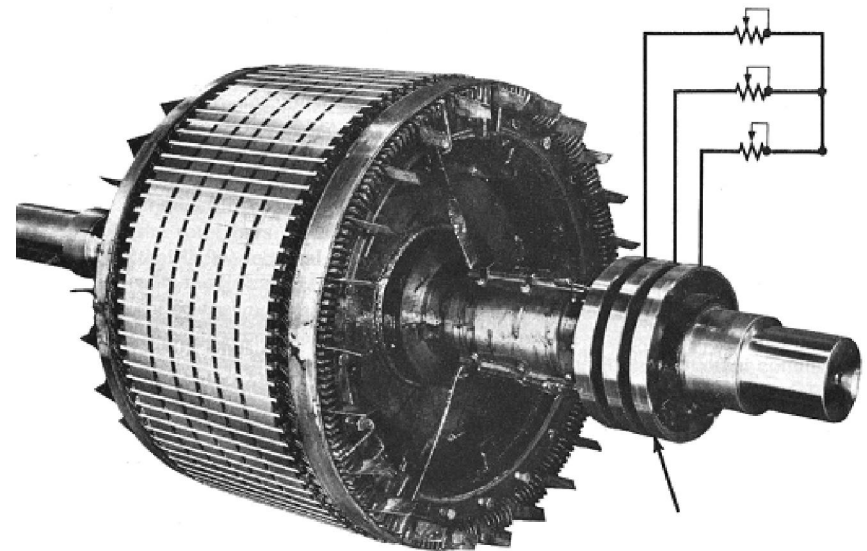
(b)

# Konstruksi Motor DC

## Wound Rotor

- The picture shows the rotor of a large wound-rotor motor
- The ends of each phase is connected to a slip ring.
- Three brushes contact the three slip-rings to three wye connected resistances

## Konstruksi Rotor



# Rotasi Medan Magnet

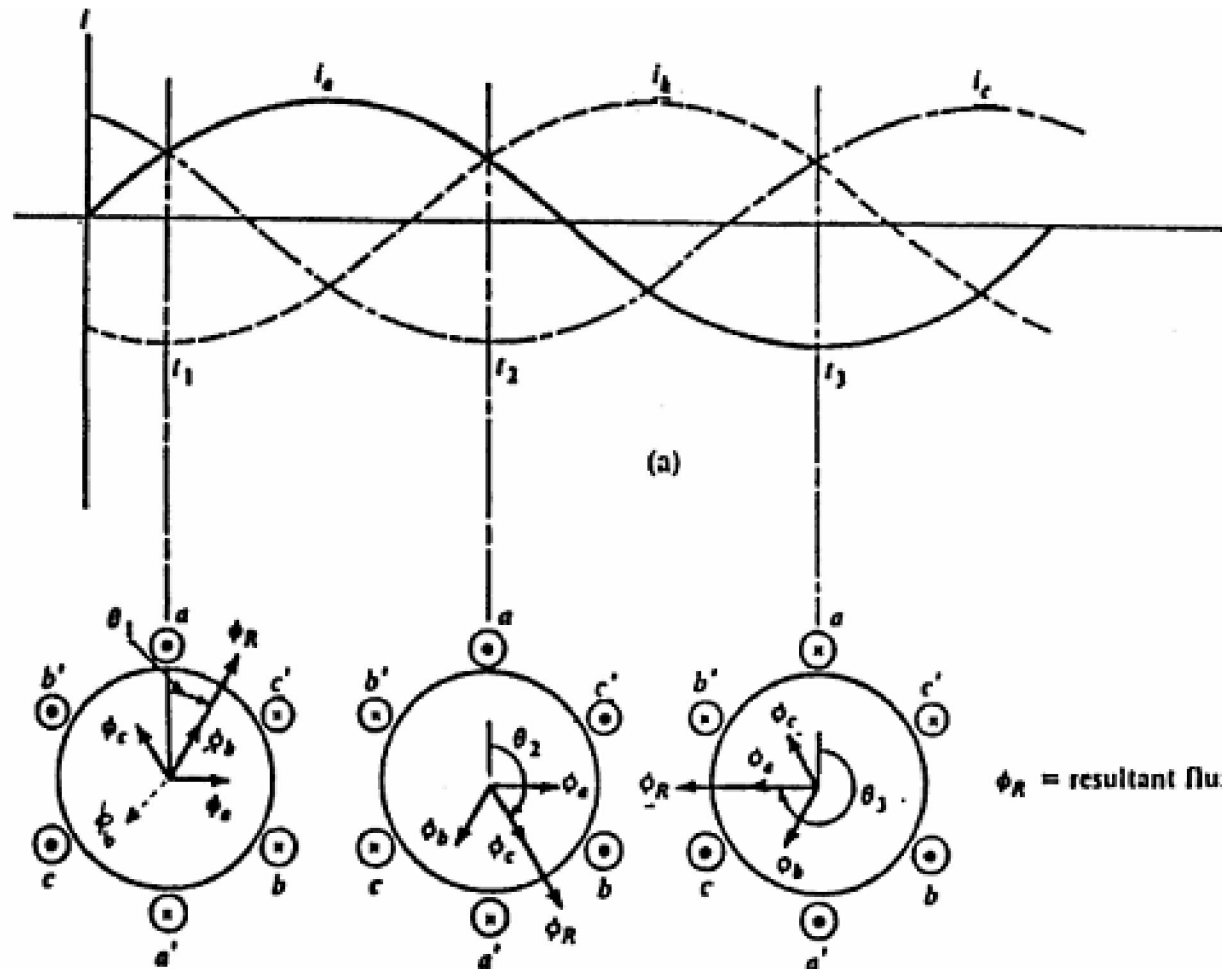
- Pada mesin ac, arus 3 fasa  $I_a$ ,  $I_b$ , dan  $I_c$ , masing-masing memiliki besar yang sama, tetapi berbeda fase  $120^\circ$ , menghasilkan sebuah medan magnet dengan besar yang konstan yang berotasi pada ruangan.
- Medan magnet yang dihasilkan oleh arus belitan 3 fasa yang seimbang disebut rotasi medan magnet atau rotating magnetic field (RMF)
- Keberadaan RMF merupakan kondisi penting untuk operasi dari mesin rotasi ac

# Produksi Rotasi Medan Magnet

- Konsep RMF diilustrasikan pada gambar berikut.
- Arus 3 fasa  $I_a$ ,  $I_b$ , dan  $I_c$ , yang seimbang, mengalir melalui belitan 3 fasa  $aa'$ ,  $bb'$ , dan  $cc'$ .
- Koil  $aa'$ ,  $bb'$ , dan  $cc'$  dipisahkan jarak  $120^\circ$ . Arus di setiap koil bertanggung jawab untuk menghasilkan fluksi magnetnya sendiri, berturut-turut,  $\phi_a$ ,  $\phi_b$  dan  $\phi_c$ .
- Gambar berikut memperlihatkan resultan fluksi  $\phi_r$  yang dihasilkan dari tiga fluksi sesaat.  $\phi_r$  memiliki ciri, (i) besarnya konstan tetapi (ii) berotasi dalam ruang waktu.



# Produksi Rotasi Medan Magnet

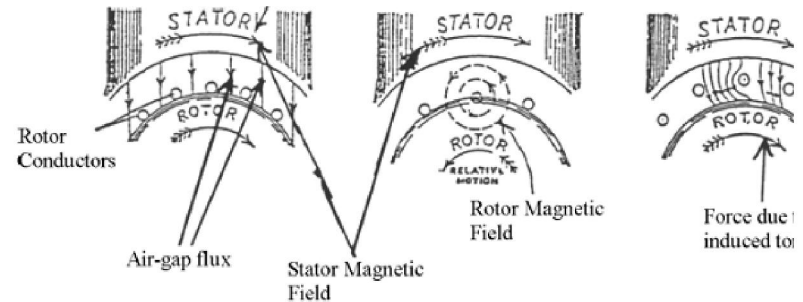


# Motor Tiga Fasa

- Stator diberi energi dengan tegangan 3 fasa
- Arus pada belitan stator menghasilkan rotasi medan magnet. Medan ini berputar dalam celah udara.
- Medan magnet stator terhubung dengan konduktor rotor melalui celah udara dan tegangan akan diinduksikan dalam konduktor rotor.
- Arus dalam konduktor rotor akan menghasilkan medan magnetnya sendiri yang berlawanan arah dengan medan magnet stator.
- Torsi dibentuk karena interaksi dari medan magnet stator dan rotor mendorong rotor untuk berputar.
- Arah rotasi rotor sama dengan arah rotasi dari putaran medan magnet dalam celah udara

# Prinsip Kerja

- Diasumsikan RMF dihasilkan oleh rotasi arus stator berlawanan arah jarum jam.
- Aeah medan magnet (saluran fluksi) dihasilkan oleh arus rotor yg berlawanan arah jarum jam.
- Konduktor rotor kemudian didorong dari kiri (daerah medan kuat) ke kanan (medan lemah). Sehingga rotor berputar dalam arah yang sama dengan RMF



# Sinkronisasi Kecepatan dan Slip

- Medan magnet stator (rotating magnetic field) berputar pada kecepatan,  $n_s$ , kecepatannya sinkron.
- Jika,  $n_m$  = kecepatan rotor, “slip”  $s$  motor induksi didefinisikan :

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} \times 100\%$$

# Sinkronisasi Kecepatan dan Slip

- Saat diam,  $s = 1$ , maka  $n_m = 0$ . Pada kecepatan sinkron,  $n_m = n_s$ ,  $s = 0$ .
- Kecepatan mekanik dari rotor, dalam terminologi kecepatan slip dan sinkron

$$n_m = (1 - s)n_s$$

$$\omega_m = (1 - s)\omega_s$$

# Frekuensi Arus dan Tegangan Rotor

- Dengan rotor yang diam, frekuensi dari tegangan dan arus yang diinduksikan sama dengan arus dan tegangan frekuensi stator,  $f_e$ . Jika rotor berputar pada kecepatan  $n_m$ , Maka kecepatan relatif adalah kecepatan slip.

$$n_{slip} = n_s - n_m$$

- $n_{slip}$  merupakan akibat dari induksi
- Tetapi  $n_m = n_s(1 - s)$  oleh definisi slip.
- Sehingga,  $n_{slip} = n_s - n_s(1 - s)$ , jadi frekuensi dari tegangan dan arus yang diinduksikan adalah,  $f_r = sf_e$ .

# Contoh

- MI 3 fasa, 20 hp, 208 V, 60 Hz menghasilkan 15 kW pada slip 0.05
- Hitung:
  - Synchronous speed (Kecepatan sinkron)
  - Rotor speed (kecepatan rotor)
  - Frequency of rotor current (frekuensi arus rotor)
- Solusi
  - Synchronous speed  $n_s = 120 f / p = (120) / 6 = 1200 \text{ rpm}$
  - Rotor speed  $n_r = (1-s) n_s = (1- 0.05) (1200) = 1140 \text{ rpm}$
  - Frequency of rotor current  $f_r = s f = (0.05) (60) = 3 \text{ Hz}$

# Rangkaian Ekuivalen

$I_1$  = stator current/phase

$R_1$  = stator winding resistance/phase

$X_1$  = stator winding reactance/phase

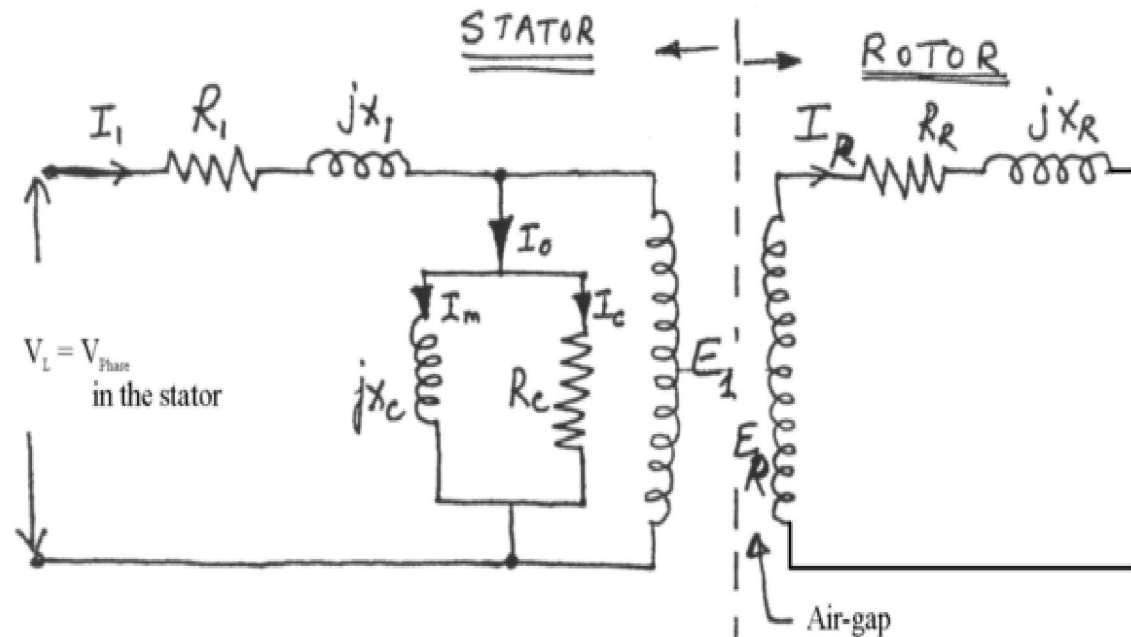
$R_R$  and  $X_R$  are the rotor winding resistance and reactance per phase, respectively

$I_R$  = rotor current

$V_1$  = applied voltage to the stator/phase

$$I_0 = I_c + I_m$$

( $I_m$  = magnetizing current,  $I_c$  = core-loss component of current)





# Induksi Tegangan

- Let  $E_{R0}$  be the induced voltage in the rotor at stand-still

$$E_{R0} = 4.44N_R\phi_m f_r$$

- since,  $f_r = f_e$ , at stand-still,  $E_{R0} = 4.44N_R\phi_m f_e$
- If  $E_R$  is the induced voltage in the rotor winding with  $f_r = sf_e$ , ( $s \neq 1$ ) then,

$$E_R = 4.44N_R\phi_m f_r$$

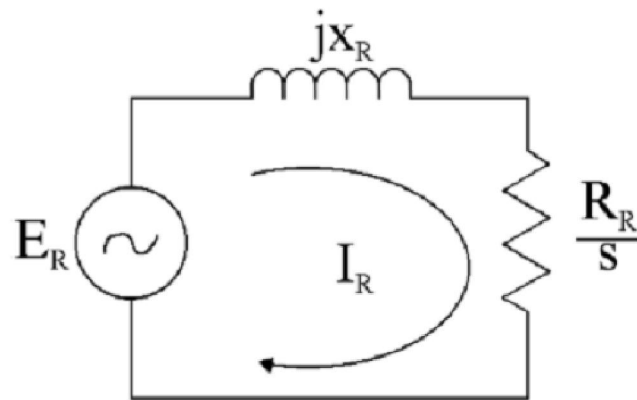
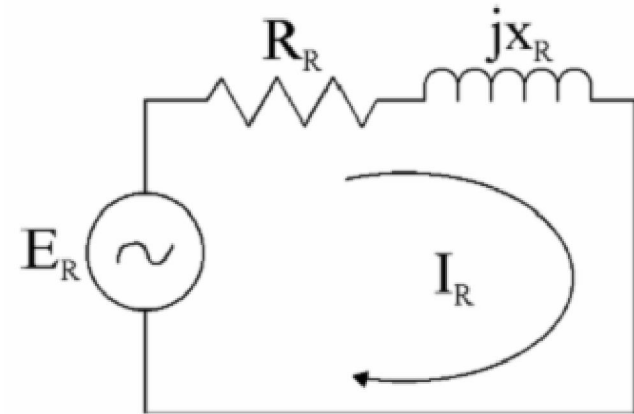
$$E_R = 4.44N_R\phi_m sf_e$$

$$E_R = sE_{R0}$$

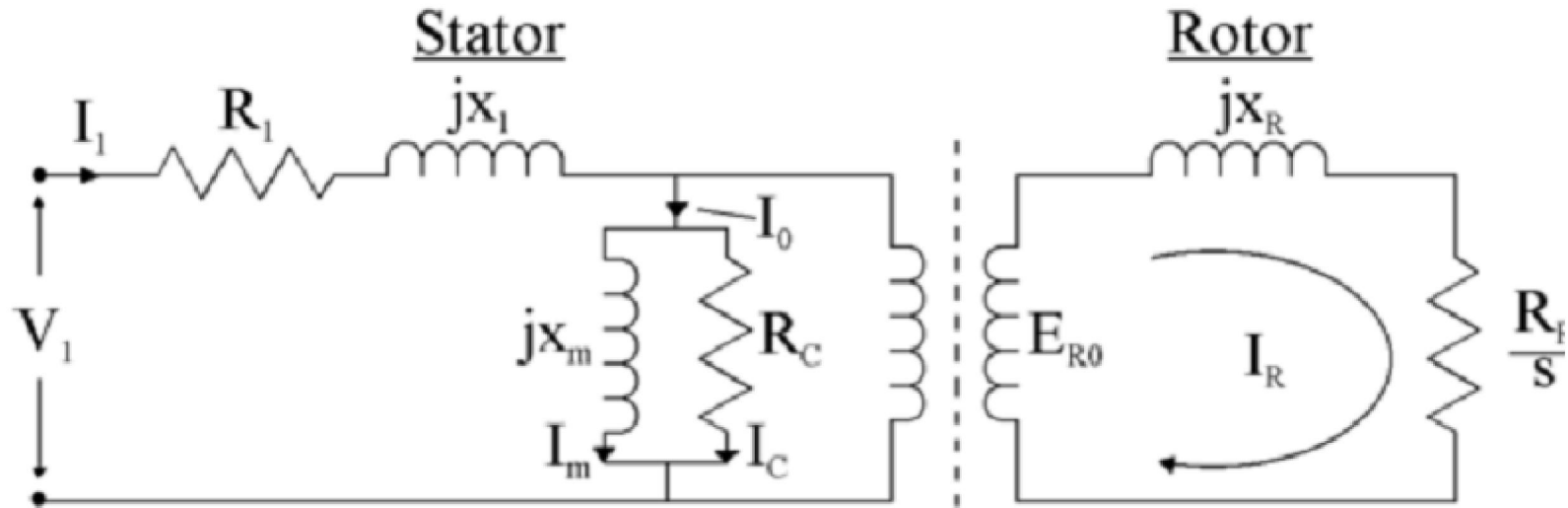
# Sirkuit Rotor

$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jX_R} = \frac{s \cdot E_{R_0}}{R_R + s \cdot jX_{R_0}}$$

$$I_R = \frac{E_{R_0}}{\frac{R_R}{s} + jX_{R_0}}$$



# Motor Induksi



$$I_2 = \frac{I_R}{a_{eff}}$$

$$R_2 = a_{eff}^2 R_R$$

$$X_2 = a_{eff}^2 X_R$$

# Power Flow

$P_{in}$  = input power to the motor  
(3 phase)

$$P_{in} = \sqrt{3}V_L I_L \cos \theta = 3V_\phi I_\phi \cos \theta$$

$R_1$  = accounts for the stator copper losses ( $P_{SCL}$ )

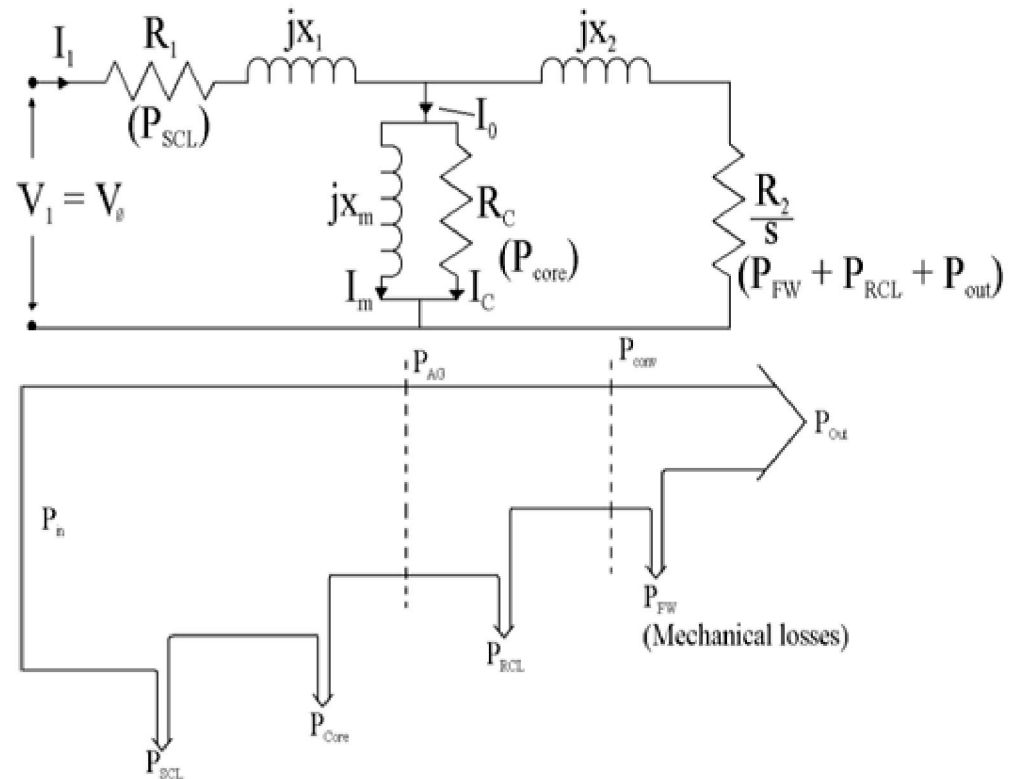
$R_C$  = accounts for the core losses

$R_2/s$  = accounts for the losses

$P_{FW}$ ,  $P_{RCL}$  and the output power,  $P_{out}$

$P_{RCL}$  = rotor copper losses

$P_{FW}$  = friction and windage losses



## Contoh 2

- Motor induksi 3 fasa, 480 V, 50 hp, mengalirkan arus 60 A pada 0.85 pf lagging. Rugi-rugi tembaga stator ( $P_{scl}$ ) adalah 2 kW dan rugi-rugi tembaga rotor ( $P_{Rcl}$ ) adalah 700 W. Gesekan dan rugi-rugi tahanan ( $P_{F\&W}$ ) 600 W, rugi-rugi inti ( $P_c$ ) 1800 W dan rugi2 diabaikan, carilah:
  - The air gap power (daya celah udara)
  - The converted power (daya yang dikonversi)
  - The output power (output daya)
  - The efficiency of the motor (efisiensi motor)

## Solusi Contoh 2

$$\text{a) } P_{in} = \sqrt{3}V_T I_L \cos(\theta)$$

$$P_{in} = \sqrt{3}(480)(60)(0.85) = 42.4 \text{ kW}$$

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{core} = 42.4 - 2 - 1.8 = 38.6 \text{ kW}$$

$$\text{b) } P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL} = 38.6 - 0.7 = 37.9 \text{ kW}$$

$$\text{c) } P_{out} = P_{conv} - P_{F\&W} = 37.9 - 0.6 = 37.3 \text{ kW}$$

$$\text{d) } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{37.3}{42.4} = 88\%$$

## Contoh 3

A 460 V, 25 hp, 60 Hz, four pole, Y-connected induction motor has the following impedances:

$$R_1 = 0.641 \, \Omega$$

$$R_2 = 0.332 \, \Omega$$

$$X_1 = 1.106 \, \Omega$$

$$X_2 = 0.464 \, \Omega$$

$$X_m = 26.3 \, \Omega$$

The total rotational losses (including core losses) are 1100 W for a slip = 2.2%, find:

- (a) The speed.
- (b) The stator current.
- (c) Power factor
- (d) The converted and output power
- (e) The induced and load torque
- (f) Efficiency

# Solusi Contoh 3

$$\text{a) } n_s \frac{120f}{P} = \frac{(120)(60)}{4} = 1800 \text{ rpm}$$

$$n_m = (1-s)n_s = (1-.022)(1800) = 1760 \text{ rpm}$$

$$\text{b) } Z_{total} = \left\{ \left( \frac{R_2}{s} + jx_2 \right) \parallel (jx_m) \right\} + (R_1 + jx_1) = 14.07 \angle 33.6$$

$$I_1 = \frac{V_{phase}}{Z_{total}} = 18.88 \angle -33.6$$

$$\text{c) } p.f. = \cos(33.6) = 0.833 \text{ lagging}$$

$$\text{d) } P_{in} = \sqrt{3}(480)(18.88)(0.833) = 12.53 \text{ kW}$$

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1 = 3(18.88)^2 (0.641) = 685 \text{ W}$$

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} = 12,530 - 685 = 11.845 \text{ kW}$$

