

ANALISA PENGARUH SATU FASA ROTOR TERBUKA TERHADAP TORSI AWAL, TORSI MAKSIMUM, DAN EFISIENSI MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Ali Sahbana Harahap, Raja Harahap, Surya Tarmizi Kasim

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: 444lisukses@gmail.com

Abstrak

Motor induksi tiga fasa sangat banyak digunakan di perindustrian, hal ini dikarenakan penggunaan dan perawatan motor induksi tiga fasa lebih sederhana, pemasangannya tidak sulit, dan biayanya lebih murah dari pada motor sinkron. Pada motor induksi tiga fasa terkadang karena pengaruh kurang perawatan atau keadaan mesin yang sudah tua dapat menyebabkan salah satu fasa rotornya menjadi rusak dan tidak berfungsi. Hal ini memberikan pengaruh terhadap torsi awal dan torsi maksimumnya serta efisiensi yang dapat mengurangi kinerja kerja dari motor tersebut. Hasil yang diperoleh dari analisa adalah torsi start yang dihasilkan oleh motor dalam keadaan satu fasa rotor terbuka lebih besar dari pada dalam keadaan normal, dikarenakan pada keadaan start $slip = 1$, pada keadaan satu fasa rotor terbuka menghasilkan T_{e1} dan T_{e2} yang saling menjumlah dan dengan nilai yang besar, dengan besar slip maksimal yang sama yaitu 0,32 dan I_2 yang sama yaitu 10,03 A di ketahui torsi maksimum yang dihasilkan oleh motor dalam keadaan satu fasa rotor terbuka lebih besar dari pada dalam keadaan normal serta di ketahui efisiensi yang dihasilkan oleh motor dalam keadaan satu fasa rotor terbuka lebih kecil dari pada dalam keadaan normal, namun daya input yang diperlukan oleh motor dengan satu fasa rotor terbuka lebih besar dari pada keadaan normal, dengan kata lain kemampuan motor dalam memikul beban berkurang.

Kata Kunci: Motor Induksi 3 Fasa, Satu Fasa Rotor terbuka, Torsi & Efisiensi

1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan pada perindustrian, motor inilah yang akan digunakan untuk memutar beban yang ada diperindustrian. Motor induksi tiga fasa keluaran besarnya berupa torsi untuk menggerakkan beban. Jika torsi beban yang dipikul motor induksi tiga fasa lebih besar, maka motor induksi tiga fasa tidak akan berputar. Dan jika torsi beban yang dipikul motor induksi tiga fasa terlalu kecil, maka ini dianggap suatu hal yang berlebihan.

Karena sesuatu hal misalnya karena kurangnya perawatan dan usia mesin yang

sudah tua, akan dapat menyebabkan salah satu fasa rotornya akan rusak atau tidak berfungsi. Hal ini tentunya akan memberikan pengaruh terhadap kemampuan mesin untuk dapat bekerja optimal. Oleh karena itu perlu dianalisa pengaruh satu fasa rotor terbuka terhadap torsi awal yang dihasilkan dan torsi maksimum motor induksi tiga fasa.

Adapun tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari satu fasa rotor terbuka terhadap torsi awal, torsi maksimum, dan efisiensi motor induksi tiga fasa. Manfaat penelitian ini adalah mendapatkan pengertian dan penjelasan mengenai pengaruh satu fasa rotor terbuka terhadap torsi awal, torsi maksimum, dan efisiensi motor induksi tiga

fasa dan memberikan kesempatan bagi mahasiswa lain untuk mempelajari lebih lanjut.

Agar pembahasan dalam makalah ini lebih terarah, maka ditentukan batasan sebagai berikut :

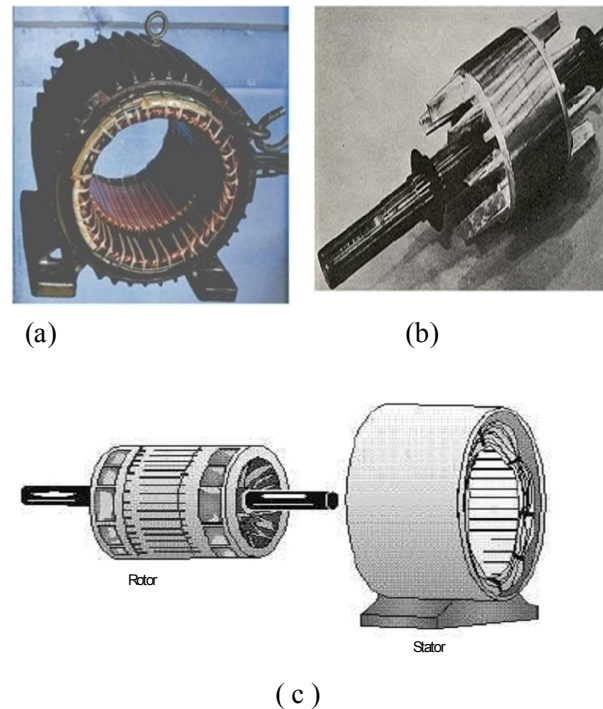
1. Motor induksi yang digunakan sebagai aplikasi adalah Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Belitan pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT.USU.
2. Tidak membahas gangguan yang terjadi pada motor induksi tiga fasa.
3. Motor induksi tiga fasa beroperasi sendiri.
4. Tidak membahas pembebanan.
5. Tidak bahas tentang pengaturan.

2. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan motor arus bolak – balik (AC) yang paling luas digunakan dan dapat dijumpai dalam setiap aplikasi industri maupun rumah tangga. 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 arus stator [1].

Motor ini memiliki konstruksi yang kuat, sederhana, handal, serta berbiaya murah. Di samping itu motor ini juga memiliki efisiensi yang tinggi saat berbeban penuh dan tidak membutuhkan perawatan yang banyak. Akan tetapi jika dibandingkan dengan motor DC, motor induksi masih memiliki kelemahan dalam hal pengaturan kecepatan. Dimana pada motor induksi pengaturan kecepatan sangat sukar untuk dilakukan, sementara pada motor DC hal yang sama tidak dijumpai.

Motor induksi adalah motor ac yang paling banyak dipergunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator bagian yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara yang jaraknya sangat kecil [2]. Konstruksi motor induksi dapat diperlihatkan pada Gambar 1



Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi (a) Stator, (b) Rotor, (c) Motor Induksi

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

1. motor induksi tiga fasa sangkar tupai (squirrel-cage motor)
2. motor induksi tiga fasa rotor belitan (wound-rotor motor)

3. Efisiensi dan Torsi Motor Induksi Dengan Satu Fasa Terbuka

Sebelum memasuki bagian efisiensi motor induksi terlebih dahulu harus memahami tentang aliran daya pada motor induksi. Pada motor induksi, tidak ada sumber listrik yang langsung terhubung ke rotor, sehingga daya yang melewati celah udara sama dengan daya yang diinputkan ke rotor. Daya total yang dimasukkan pada kumparan stator (P_{in}) dirumuskan dengan [2]

$$P_{in} = \sqrt{3}V_1 I_1 \cos \theta \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (1)$$

Daya listrik disuplai ke stator motor induksi diubah menjadi daya mekanik pada

poros motor. Berbagai rugi – rugi yang timbul selama proses konversi energi listrik antara lain :

1. rugi – rugi tetap (*fixed losses*), terdiri dari :

❖ rugi – rugi inti stator (P_i)

$$P_i = \frac{3 \cdot E_1^2}{R_C} \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (2)$$

❖ rugi – rugi gesek dan angin

2. rugi – rugi variabel, terdiri dari :

❖ rugi – rugi tembaga stator (P_{ts})

$$P_{ts} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (3)$$

❖ rugi – rugi tembaga rotor (P_{tr})

$$P_{tr} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (4)$$

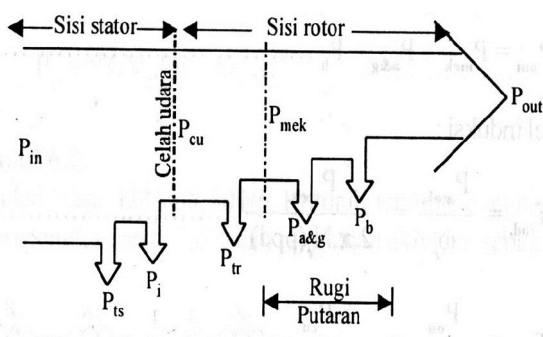
Daya pada celah udara (P_{cu}) dapat di hitung dengan rumus :

$$P_{cu} = P_{in} - P_{ts} - P_i \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (5)$$

Jika dilihat pada rangkaian rotor, satu – satunya elemen pada rangkaian ekivalen yang mengkonsumsi daya pada celah udara adalah resistor R_2 / s . Oleh karena itu daya pada celah udara dapat juga ditulis dengan :

$$P_{cu} = 3 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (6)$$

Aliran daya motor induksi tiga fasa dapat di lihat pada Gambar 2



Gambar 2. Diagram aliran daya motor induksi[3]

Persamaan torsi (T_e) motor induksi untuk berbagai kecepatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$T_e = \frac{P_{mek}}{\omega_r} \dots\dots\dots (9)$$

Diketahui

$$P_{mek} = P_{cu} \times (1 - s) \text{ (Watt)}$$

$$\omega_r = 2\pi N_r$$

$$N_r = N_s (1-s)$$

Maka,

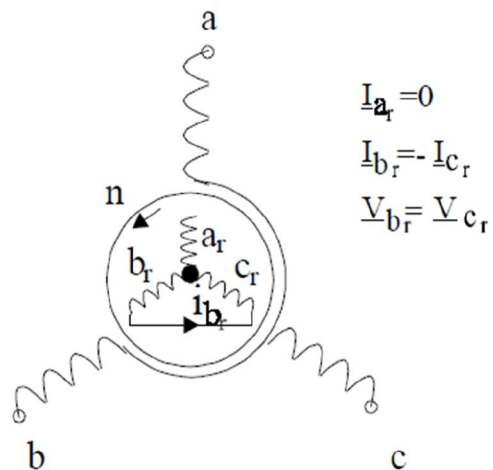
$$T_e = \frac{P_{cu}(1-s)}{2\pi N_s(1-s)} = \frac{P_{cu}}{\omega_s} = \frac{3 I_2^2 \frac{R_2}{s}}{\omega_s} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

$$\omega_s = 2\pi N_s$$

$$P_{cu} = 3 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} \text{ (Watt)}$$

Motor induksi tiga fasa dengan satu fasa rotor terbuka dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Motor induksi dengan satu fasa rotor terbuka [4]

Pada keadaan seperti di atas maka berlaku persamaan :

$$I_{ar1} = -I_{ar2} = -\frac{j}{\sqrt{3}} I_{br} \dots\dots\dots (11)$$

$$V_{r1} = V_{r2} = \frac{1}{3} (V_{ar} - V_{r2}) \dots\dots\dots (12)$$

Persamaan pendekatan pertama, semua arus rotor mempunyai frekuensi $f_2 = S f_1$ pada keadaan steady (tetap). Gerak gaya magnet maju, dihasilkan oleh I_{br1} , I_{cr1} , berinteraksi seperti biasa dengan belitan.

$$I_{21} R_2 - V_{21} = -j \omega_1 S \psi_{21} \dots\dots\dots (13)$$

$$I_{11} R_1 - V_1 = -j \omega_1 \psi_{11} ; \psi_{11} = L_1 I_{11} + L_m I_{21}$$

$$I_{11} = \frac{-j \omega_1 L_m I_{21} + V_1}{R_1 + j \omega_1 L_1} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

$$\psi_{21} = L_2 I_{21} + L_m I_{11}$$

Komponen gaya gerak magnet yang mundur dari arus rotor yang berputar terhadap stator terdapat pada kecepatan n_1' . Adapun n_1' adalah :

$$n_1' = n - S \frac{f_1}{p} = \frac{f_1}{p} (1 - 2S)$$

Maka ini akan menginduksi gaya gerak listrik pada frekuensi $f_1' = f_1 (1 - 2S)$. Gaya gerak mundur dihasilkan oleh I_{22} , yang akan menghasilkan torsi lawan [5].

$$I_{22} R_2 - V_{22} = -j \omega_1 S \psi_{22} \dots\dots\dots (15)$$

$$I_{12} R_1 = -j \omega_1 (1 - 2S) \psi_{12}$$

$$I_{12} = \frac{-j \omega_1 (1 - 2S) L_m I_{22}}{R_1 + j \omega_1 (1 - 2S) L_s} \dots\dots\dots (16)$$

Dalam keadaan awal maka $S = 1$ dan pada

$$\text{keadaan maksimum } S = \frac{R_2'}{\sqrt{(R_e^2 + (X_e + X_2')^2)}}$$

Dimana :

$$\psi_{12} = L_1 I_{12} + L_m I_{22}$$

$$L_1 = L_s + L_m$$

$$L_2 = L_r + L_m$$

$$T_e = \frac{P_{cu}}{\omega_s} ; \omega_s = \frac{\omega_1}{P_1} \text{ (Rad/s)}$$

$$= \frac{3 P_1 I_{22}^2 R_2}{\omega_1 S} \dots\dots\dots (17)$$

Dimana P_1 = Jumlah pasang kutub

Dari pers 17, apabila rotor di hubung singkat maka tegangan di rotor (V_2) = 0, maka :

$$I_{21} R_2 = -j \omega_1 S \psi_{21} \dots\dots\dots (18)$$

Dengan menambah kan I_{21}^* (I_{21} conjugate) ke persamaan 18 di atas maka :

$$I_{21}^* I_{21} R_2 = -j \omega_1 S \psi_{21} I_{21}^* \dots\dots\dots (19)$$

Maka P_g adalah :

$$\text{Real} = 3 (I_{21}^* I_{21} R_2)$$

$$\text{Imaginer} = 3 - j \omega_1 S \psi_{21} I_{21}^* \dots\dots\dots (20)$$

Maka dari persamaan di atas diambil persamaan P_g yang mempunyai hubungan dengan arus stator yaitu dari bilangan imaginer [5].

Dengan mensubsitusikan Persamaan (16) ke Persamaan (20), maka di dapat :

$$T_e = 3 P_1 \text{ Imag} (\psi_{21} I_{21}^*) \dots\dots\dots (21)$$

Dengan menurunkan persamaan di atas maka didapat :

$$T_e = 3 P_1 \text{ Imag} [(L_2 I_{21} + L_m I_{11}) I_{21}^*]$$

$$= 3 P_1 \text{ Imag} (L_m I_{11} I_{21}^*)$$

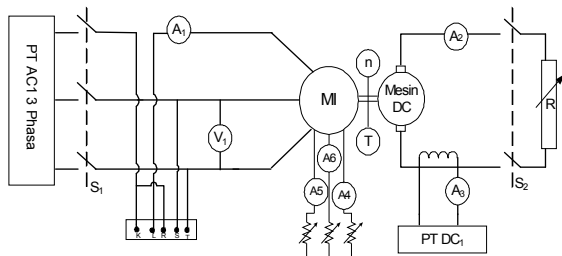
$$= 3 P_1 L_m \text{ Imag} (I_{11} I_{21}^*) \dots\dots\dots (22)$$

4. Pengujian dan Hasil Pengujian

Motor induksi tiga fasa terkadang karena pengaruh kurangnya perawatan atau keadaan mesin yang sudah tua dapat menyebabkan salah satu fasa rotornya menjadi rusak atau tidak berfungsi. Hal ini memberikan pengaruh terhadap torsi awal, torsi maksimumnya serta

efisiensi yang dapat mengurangi kinerja dari motor tersebut. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pembebanan motor induksi dengan kondisi normal dan pengujian motor induksi berbeban dengan kondisi satu fasa rotor terbuka.

Adapun Rangkain pembebanan motor induksi dengan kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4. Rangkaian percobaan pembebanan motor induksi

Hasil pengujian motor induksi dalam kondisi normal di lihat sisi keadaan start dan mantap.

A. Keadaan Start

Suatu kondisi di mana motor induksi dalam keadaan diam atau akan berputar, sehingga slip=1.

Adapun tabel hasil pengujian motor induksi keadaan berbeban dengan kondisi normal dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Motor Induksi Keadaan Berbeban Dengan Kondisi Normal $R_a = R_b = R_c = 2,4 \Omega$

R (%)	Torsi (start) (Nm)	Ia (start) (A)	Ib (start) (A)	Ic (start) (A)	Is (start) (A)
100	0,5	6	6	6	3

B. Keadaan Mantap

Suatu kondisi di mana motor induksi lagi berputar atau berjalan.

Hasil pengujian motor induksi berbeban dengan kondisi normal dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Motor Induksi Keadaan Berbeban Dengan Kondisi Normal

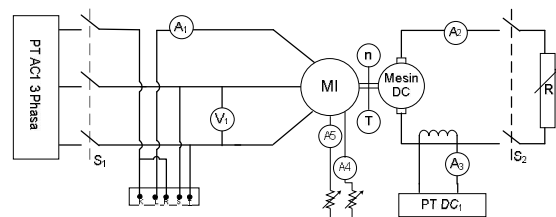
R(%)	Nr	Slip	P _{in}	Torsi (Nm)
100	1200	0,2	0,4	0,7

Ia	Ib	Ic	Is
2,5	2,5	2,5	2,86

Dengan Satu Fasa Rotor Terbuka

Motor induksi pada keadaan ini mengalami gangguan pada salah satu fasa rotornya sehingga tidak bekerja dengan baik.

Rangkain percobaan motor induksi dengan satu fasa rotor terbuka dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Rangkaian percobaan pembebanan motor induksi dengan satu fasa rotor terbuka

Hasil pengujian motor induksi dalam kondisi satu fasa rotor terbuka di lihat dari sisi keadaan start dan mantap

A. Keadaan Start

Suatu kondisi di mana motor induksi dalam keadaan diam atau akan berputar, sehingga slip=1 .

Tabel hasil pengujian motor induksi berbeban dengan kondisi satu fasa rotor terbuka dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Motor Induksi Keadaan Berbeban Dengan Kondisi Satu Fasa Rotor Terbuka $R_b = R_c = 2,4 \Omega$

R (%)	Torsi (start) (A)	Ia (start) (A)	Ib (start) (A)	Ic (start) (A)	Is (start) (A)
100	1	-	4,5	4,5	2,96

B. Keadaan Mantap

Adapun tabel hasil pengujian motor induksi keadaan berbeban dengan kondisi satu fasa rotor terbuka dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Motor Induksi Keadaan Berbeban Dengan Kondisi Satu Fasa Rotor Terbuka

R(%)	Nr	P _{in} (Kw)	Slip	Torsi (Nm)
100	900	0,6	0,4	0,8

Ia	Ib	Ic	Is
-	3	3	2,96

Adapun tabel hasil pengujian analisa pengaruh satu fasa rotor terbuka terhadap torsi awal, torsi maksimum dan efisiensi motor induksi tiga fasa dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Hasil analisa pengaruh satu fasa rotor terbuka terhadap torsi awal, torsi maksimum dan efisiensi motor induksi tiga fasa

R (%)	Torsi (start) (Nm)	Torsi (Maks) (Nm)	Efisiensi (%)
Keadaan Normal	0,62	14,4	79
Keadaan Satu Fasa Rotor terbuka	7,8	54,75	40,19

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian percobaan motor induksi satu fasa rotor terbuka dapat di simpulkan :

1. Di ketahui torsi start yang dihasilkan oleh motor dalam keadaan satu fasa rotor terbuka

lebih besar dari pada dalam keadaan normal, dikarenakan pada keadaan start slip = 1 , pada keadaan satu fasa rotor terbuka menghasilkan T_{e1} dan T_{e2} yang saling menjumlah dan dengan nilai yang besar.

2. Besar slip maksimal yang sama yaitu 0,32 dan I_2 yang sama yaitu 10,03 A di ketahui torsi maksimum yang dihasilkan oleh motor dalam keadaan satu fasa rotor terbuka lebih besar dari pada dalam keadaan normal.
3. Efisiensi yang dihasilkan oleh motor dalam keadaan satu fasa rotor terbuka lebih kecil dari pada dalam keadaan normal, namun daya input yang diperlukan oleh motor dengan satu fasa rotor terbuka lebih besar dari pada keadaan normal, dengan kata lain kemampuan motor dalam memikul beban berkurang.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir.Raja Harahap, M.T dan Ir.Surya Tarmizi Kasim,M.Si atas bimbingannya dalam penulisan jurnal ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. A. Rahman, M.T, Bapak Ir. Eddy Warman dan Ibu Ir. Windalina Syafiar yang telah memberikan saran-saran yang membangun dalam penulisan jurnal ini.

7. Referensi

- [1]. Wijaya, Mochtar, "Dasar-Dasar Mesin Listrik", Penerbit Djambatan, Jakarta , 2001.
- [2]. Zuhul, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Edisi ke-5, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995.
- [3]. Chapman, Stephen J, "Electric Machinery Fundamentals", Third Edition Mc Graw Hill Companies, New York, 1999.
- [4]. Boldea, I., and Nasar, S.A., "Induction Machines Handbook", CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2002.
- [5]. Boldea, Ion, " Variabel Speed Generator ", Taylor & Francis Group, Ney York, 2006.