

ANALISIS KARAKTERISTIK TORSI DAN PUTARAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA PADA KONDISI OPERASI SATU FASA DENGAN PENAMBAHAN KAPASITOR

Antonius Pahala Nainggolan, Eddy Warman
Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: niuznainggolan@gmail.com

Abstrak

Pengoperasian motor induksi tiga fasa biasanya menggunakan sistem tiga fasa, jika pengoperasian motor induksi tersebut dioperasikan pada kondisi satu fasa maka akan ada perbedaan karakteristik yang terjadi pada motor tersebut. Perbedaan ini dipengaruhi oleh bentuk rangkaian pengoperasiannya maupun komponen tambahan yang digunakan untuk mengubah bentuk rangkaian motor induksi tiga fasa yaitu berupa kapasitor. Pada tulisan ini dibahas karakteristik torsi dan putaran motor induksi tiga fasa pada kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor. Dari hasil pengujian motor induksi tiga fasa 1,5 kW rotor sangkar dengan kapasitor 20 μ F untuk beban 20%, 40% dan 60% dihasilkan torsi sebesar 2,75 Nm, 2,95 Nm dan 3,24 Nm. Sedangkan untuk putaran motor induksi tiga fasa untuk beban 20%, 40% dan 60% sebesar 1400 rpm, 1380 rpm dan 1350 rpm.

Kata Kunci: motor induksi 3 fasa, kapasitor, torsi output motor

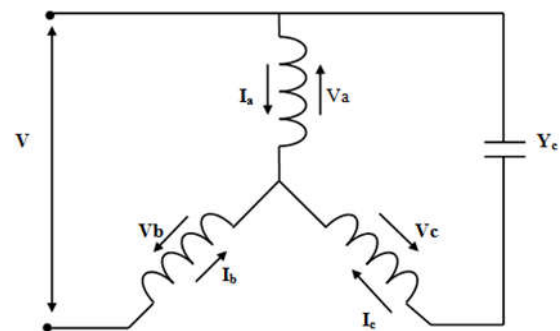
1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas digunakan dan dapat dijumpai dalam setiap aplikasi industri maupun rumah tangga. Suatu kondisi tertentu catu daya tiga fasa mengalami gangguan salah satu fasanya, atau hanya tersedia catu daya satu fasa. Motor induksi tiga fasa dapat dioperasikan pada kondisi satu fasa sehingga berfungsi sebagai motor induksi satu fasa. Pengoperasian motor induksi tiga fasa pada kondisi satu fasa dapat dilakukan dengan cara membagi kumparan motor induksi tiga fasa menjadi kumparan bantu dan kumparan utama dengan kapasitor yang dipasang pada terminal motor induksi[1].

2. Motor Induksi Tiga Fasa pada Kondisi Operasi Satu Fasa dengan Penambahan Kapasitor

Motor induksi tiga fasa dapat dioperasikan pada kondisi satu fasa dengan penambahan kapasitor yang dihubungkan pada belitan stator yang ditunjukkan pada Gambar 1 .

Pada kondisi ini motor induksi tiga fasa tersebut beroperasi dengan tegangan tidak simetris. Dengan menggunakan analisis komponen simetris dapat dibuat suatu model matematika untuk mendapatkan persamaan tegangan urutan positif (V_1) maupun persamaan tegangan urutan negatif (V_2).



Gambar 1 Hubungan belitan stator [1]

Berdasarkan dari rangkaian di atas, dapat dianalisis hubungan arus dan tegangan dengan menggunakan Hukum Kirchoff sebagai berikut[2].

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (1)$$

$$V - V_a + V_b = 0 \quad (2)$$

$$V_a - V_c - \frac{I_c}{Y_c} = 0 \quad (3)$$

Dimana V_a , V_b dan V_c merupakan tegangan masing-masing kumparan stator, sedangkan I_a , I_b dan I_c merupakan arus yang mengalir pada setiap kumparan stator. Dengan metode transformasi komponen simetris dan

pergeseran fasa menggunakan operator a , tiga fasor tegangan tidak seimbang fasa (V_a, V_b dan V_c) dapat ditransformasikan dan diuraikan menjadi sistem tiga fasor yang seimbang menjadi

$$V_a = V_0 + V_1 + V_2$$

(4)

$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2$$

$$V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

Dimana V_0, V_1 dan V_2 merupakan tegangan urutan nol, urutan positif dan urutan negatif. Sedangkan persamaan arus pada masing-masing kumparan stator adalah

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$$

$$I_c = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

Kemudian substitusi nilai $I_0 = V_0 \cdot Y_0, I_1 = V_1 \cdot Y_1$ dan $I_2 = V_2 \cdot Y_2$ ke persamaan arus diatas, sehingga persamaan arusnya menjadi

$$I_a = V_0 \cdot Y_0 + V_1 \cdot Y_1 + V_2 \cdot Y_2$$

$$I_b = V_0 \cdot Y_0 + a^2 V_1 \cdot Y_1 + a V_2 \cdot Y_2$$

$$I_c = V_0 \cdot Y_0 + a V_1 \cdot Y_1 + a^2 V_2 \cdot Y_2$$

Sehingga dengan substitusi persamaan 4 dan 5 ke persamaan 2 akan didapat persamaan tegangan urutan positif dan persamaan tegangan urutan negatif sebagai berikut :

$$V_1 = \left(\frac{V e^{-j30}}{\sqrt{3}} \right) \left(\frac{(\sqrt{3}) Y_c e^{-j30} + Y_2}{3 Y_c + Y_1 + Y_2} \right)$$

(13)

$$V_2 = \left(\frac{V e^{j30}}{\sqrt{3}} \right) \left(\frac{(\sqrt{3}) Y_c e^{j30} + Y_1}{3 Y_c + Y_1 + Y_2} \right)$$

(14)

Dimana:

V_1 = Tegangan urutan positif (V)

V_2 = Tegangan urutan negatif (V)

Y_1 = Admitansi urutan positif (U)

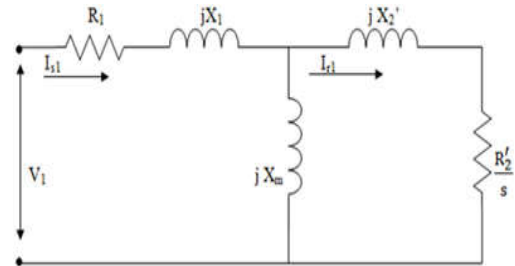
Y_2 = Admitansi urutan negatif (U)

Y_c = Admitansi kapasitor (U)

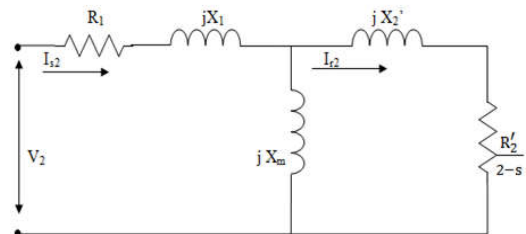
3. Rangkaian Urutan Positif dan Rangkaian Urutan Negatif

Rangkaian ekivalen motor induksi pada kondisi operasi satu fasa dengan penambahan

kapasitor urutan positif dan negatif dapat dilihat pada Gambar 2.



a. Rangkaian urutan positif



b. Rangkaian urutan negatif

Gambar 2 Rangkaian urutan motor induksi 3 fasa [3]

Berdasarkan rangkaian pada Gambar 2 di atas persamaan impedansi urutan positif (Z_1) dan impedansi urutan negatif (Z_2) adalah sebagai berikut.

$$Z_1 = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2'}{s} + jX_2' \right)}{\frac{R_2'}{s} + j(X_2' + X_m)}$$

(15)

$$Z_2 = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2'}{(2-s)} + jX_2' \right)}{\frac{R_2'}{(2-s)} + j(X_2' + X_m)}$$

(16)

Dimana:

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

R_1 = Tahanan stator (Ω)

R_2' = Tahanan rotor (Ω)

X_1 = Reaktansi stator (Ω)

X_2' = Reaktansi rotor (Ω)

X_m = Reaktansi magnetisasi (Ω)

Sedangkan untuk mencari nilai arus stator urutan positif (I_{s1}) dan arus rotor urutan

positif(I_{r1}) dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$I_{s1} = V_1 \cdot Y_1 \quad (17)$$

$$I_{r1} = \frac{jX_m}{\left(\frac{R_2'}{s}\right) + j(X_m + X_2')} I_{s1} \quad (18)$$

Dimana:

$$I_{s1} = \text{Arus stator urutan positif (A)}$$

$$I_{r1} = \text{Arus rotor urutan positif (A)}$$

$$V_1 = \text{Tegangan urutan positif (V)}$$

$$Y_1 = \text{Admitansi urutan positif (U)}$$

Nilai arus stator urutan negatif(I_{s2}) dan arus rotor urutan negatif(I_{r2}) dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{s2} = V_2 \cdot Y_2 \quad (19)$$

$$I_{r2} = \frac{jX_m}{\left(\frac{R_2'}{(2-s)}\right) + j(X_m + X_2')} I_{s2} \quad (20)$$

Dimana:

$$I_{s2} = \text{Arus stator urutan negatif (A)}$$

$$I_{r2} = \text{Arus rotor urutan negatif (A)}$$

$$V_2 = \text{Tegangan urutan negatif (V)}$$

$$Y_2 = \text{Admitansi urutan negatif (U)}$$

4. Torsi Motor Induksi Tiga Fasa pada Kondisi Operasi Satu Fasa

Torsi motor induksi tiga fasa pada kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor berbeda dengan ketika motor induksi beroperasi normal tiga fasa. Perbedaan ini diakibatkan oleh ketidakseimbangan tegangan pada masing masing kumparan stator ketika motor dioperasikan pada sistem tenaga satu fasa.[4]

Ketidakseimbangan ini akan mengakibatkan munculnya komponen urutan negatif yang akan berlawanan dengan komponen urutan positif, sehingga akan memperkecil nilai torsi output motor induksi. Adapun persamaan torsi output yang dihasilkan pada kondisi operasi satu fasa adalah.[5]

$$\begin{aligned} T_{out} &= T_f - T_b \\ &= \left(3 \frac{R_2' I_{r1}^2}{s(\omega_s)}\right) - \left(3 \frac{R_2' I_{r2}^2}{(2-s)(\omega_s)}\right) \\ &= \left(\frac{3R_2'}{\omega_s}\right) \left(\frac{I_{r1}^2}{s} - \frac{I_{r2}^2}{(2-s)}\right) \quad (21) \end{aligned}$$

Dimana:

T_{out} = Torsi total yang dihasilkan motor induksi (Nm)

T_f = Torsi arah maju (Nm)

T_b = Torsi arah mundur (Nm)

5. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik torsi dan putaran motor induksi tiga fasa, bila dioperasikan pada kondisi satu fasa dengan penambahan kapasitor. Serta membandingkan karakteristik tersebut dengan kondisi motor induksi tiga fasa saat kondisi operasi normal tiga fasa.

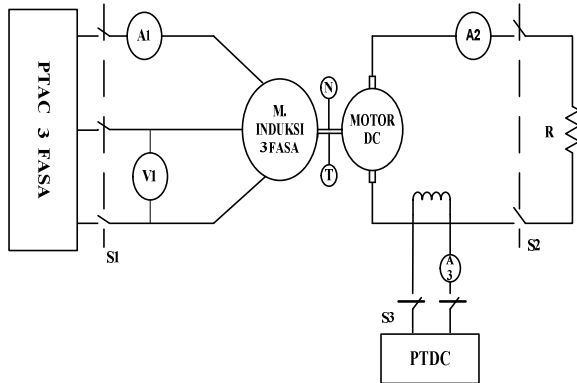
Motor yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi tiga fasa rotor sangkar yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi Listrik FT. USU dengan spesifikasi sebagai berikut:

Daya Output	: 1,5 kW
Tegangan	: 220/380 V
Arus	: 6,3/ 3,6 A
Putaran (Nr)	: 1400 rpm
Cos phi	: 0,83
Tipe Belitan	: Δ/Y
Kelas Isolasi	: B

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

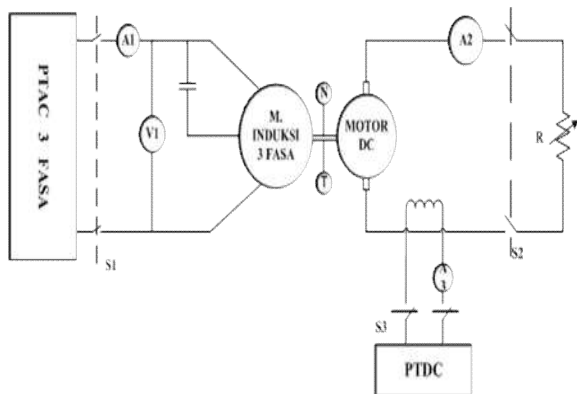
- Metode pengambilan data berupa metode pengukuran.
- Tahap pengukuran dilakukan terhadap motor induksi tiga fasa dioperasikan pada sistem tiga fasa dengan beban berupa motor dc dan pengukuran terhadap motor induksi tiga fasa pada kondisi operasi satu fasa.
- Catat nilai arus, tegangan dan torsi dari kedua percobaan.
- Bandingkan data pengukuran dari kedua percobaan.

Adapun rangkaian percobaan dari motor induksi tiga fasa saat beroperasi normal tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian percobaan motor induksi tiga fasa kondisi normal

Sedangkan rangkaian percobaan dari motor induksi tiga fasa pada kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Rangkaian percobaan motor induksi tiga fasa kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor

6. Hasil dan Analisis

Berdasarkan percobaan dari motor induksi tiga fasa kondisi normal maka didapat data yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

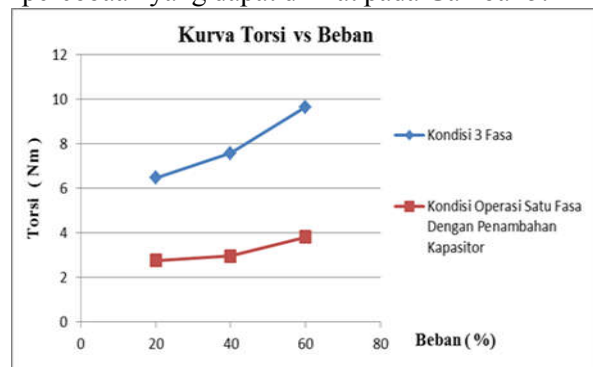
Tabel 1 Data hasil percobaan motor induksi tiga fasa kondisi normal

Beban(%)	I _s (A)	N _r (rpm)	T _{out} (Nm)
20	1,57	1450	6,47
40	1,6	1420	7,57
60	1,61	1400	9,65

Tabel 2 Data hasil percobaan motor induksi tiga fasa kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor

Beban(%)	I _s (A)	N _r (rpm)	T _{out} (Nm)
20	1,57	1450	6,47
40	1,6	1420	7,57
60	1,61	1400	9,65

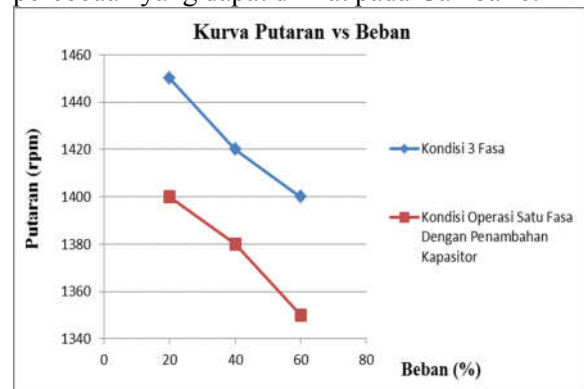
Berdasarkan hasil data dari Tabel 1 dan Tabel 2 maka dapat diplot dalam bentuk kurva karakteristik torsi dari kedua percobaan yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Kurva perbandingan torsi vs beban

Pada Gambar 5 di atas dapat dianalisis bahwa motor induksi pada kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor memiliki nilai torsi yang lebih kecil dibandingkan dengan motor induksi tiga fasa yang dioperasikan pada kondisi normal tiga fasa. Hal ini diakibatkan oleh karena timbulnya torsi urutan negatif yang memperkecil nilai torsi output motor induksi.

Berdasarkan hasil data dari Tabel 1 dan Tabel 2 maka dapat diplot dalam bentuk kurva karakteristik putaran dari kedua percobaan yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kurva perbandingan putaran vs beban

Dari Gambar 6 dapat dianalisis bahwa putaran motor induksi pada saat operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi operasi normal tiga fasa.

7. Kesimpulan

Dari hasil analisis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk motor induksi pada kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor memiliki nilai torsi output lebih kecil dibandingkan dengan kondisi operasi normal tiga. Hal ini disebabkan pada kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor timbul komponen urutan negatif yang memperkecil nilai torsi output motor induksi tiga fasa.
2. Pada motor induksi kondisi operasi satu fasa dengan penambahan kapasitor memiliki putaran lebih rendah dibandingkan dengan pada kondisi operasi normal tiga fasa.

Referensi

- [1] Brown, J.E, *The Starting Of a Three Phase Induction Motor Connected To a Single Supply System*, IEE No. 2860, 1959.
- [2] Halim, A.M. Abdel , M.M Salama, *Performance Of a Three Phase Motor Induction Motor Fed From a Non Ideal Single Phase Supply*, Proceedings ETEP Vol.5 No.3: May, 1995.
- [3] Chapman, S.J, *Electric Machinery Fundamental*, Mc Graw-Hill.1985.
- [4] Boldea, Ion , Syed A. Nassar, *The Induction Machine Handbook*, Boca Raton: CRC Press, 2002.
- [5] Mehta, V.K, and Rohit Mehta, *Principles Of Electrical Machines*, New Delhi: S. Chand & Company Ltd, 2002.