

Model Rangkaian Ekivalen Motor Induksi 3-Fasa Saat Beroperasi pada Sistem 1-Fasa

ZURIMAN ANTHONY¹, ERHANELI², BUSRAN³
RUDI AGAM ALAMSYAH⁴, FIRMAN ISKANDAR⁵, RIKI MARET NUGRAHA⁶,
AEJELINA EL GAZALY⁷

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITP
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang 25143, Indonesia

^{4,5,6,7}Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITP
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang 25143, Indonesia

*zurimananthony@yahoo.com

ABTRAK: Penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan suatu cara pendekatan untuk membuat model rangkaian ekivalen motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa. Model rangkaian yang dibuat mengacu kepada bentuk rangkaian sistem pengoperasian motor yang dikemukakan oleh Zuriman Anthony^[1,2]. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa arus dan faktor daya pada motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa. Objek penelitian adalah motor induksi 3-fasa, 1,5 HP, 380/220V, Y/ Δ , 2,55/4,74A, 4 kutup, 50 Hz, 1400 RPM. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa bentuk rangkaian ekivalen motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem 1-fasa sama dengan rangkaian ekivalen motor kapasitor jalan dengan nilai $a = 1$ dan nilai impedansi dikali $2/3$. Tingkat keakuratan perhitungan dengan menggunakan rumus dan rangkaian ekivalen yang diusulkan jika dibandingkan terhadap hasil percobaan di labor berada di atas 90%, sehingga rangkaian dengan rumus yang diberikan layak untuk digunakan

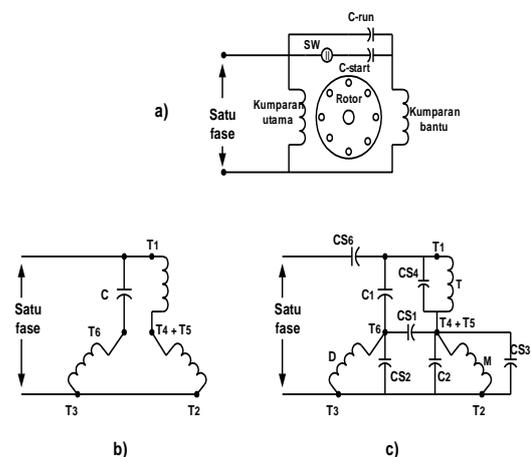
Kata kunci: rangkaian ekivalen, arus pada motor, faktor daya, motor induksi 1-fasa.

1. PENDAHULUAN

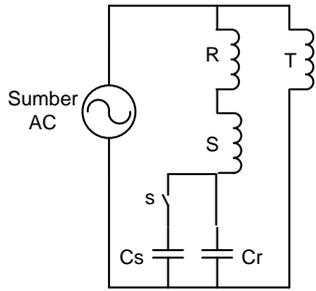
Motor induksi 3-fasa merupakan motor listrik yang banyak digunakan saat ini, umumnya pada sektor industri karena motor ini mempunyai konstruksi yang kuat dan banyak diproduksi dengan daya yang besar. Motor ini biasanya beroperasi secara normal dengan menggunakan sistem tenaga listrik AC 3-fasa. Dalam perkembangannya motor ini telah banyak diterapkan untuk dioperasikan pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan menggunakan rangkaian kapasitor pada motor. Metode yang diterapkan sangat beragam dan banyak meniru kepada prinsip yang digunakan oleh motor induksi 1-fasa dengan jenis motor kapasitor. Motor induksi 3-fasa dapat dioperasikan pada sistem 1-fasa dengan cara merubah bentuk hubungan kumparan motor ini seperti halnya motor kapasitor. Kapasitor yang digunakan dapat diletakkan pada sisi kumparan dengan impedansi yang kecil^[6,8] atau pada sisi kumparan dengan impedansi yang besar^[1,2] seperti yang diperlihatkan pada gambar 1 dan 2.

Gambar 2 merupakan bentuk sistem mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan menggunakan kapasitor yang lebih kecil dari metode yang lainnya karena kapasitor diletakkan seri dengan 2 kumparan motor (kapasitor diletakkan pada kumparan dengan impedansi yang lebih besar). Metode ini dapat diterapkan untuk motor induksi 3-fasa dengan

standar pengoperasian hubungan bintang^[1] dan standar pengoperasian hubungan delta^[2]. Metode yang digunakan pada gambar 2 ini disebut metode M31-ZA yang dikemukakan pertama kali oleh Zuriman Anthony^[1,2].



Gambar 1. Bentuk pengoperasian motor induksi pada sistem 1-fasa : a) motor kapasitor (motor 1-fasa); b) motor induksi 3-fasa menurut Scheda^[6] ; c) motor induksi 3-fasa menurut Smith^[8]



Gambar 2. Rangkaian kapasitor diletakkan pada kumparan dengan impedansi yang lebih besar^{1,2]}

Pemodelan motor saat ini di arahkan kepada bentuk rangkaian sistem pengoperasian yang diberikan pada gambar 2 dengan standar pengoperasian hubungan delta. Dengan mengacu ke gambar 2 untuk standar motor induksi 3-fasa hubungan delta, maka nilai kapasitor start total ($C_{st\Delta}$), kapasitor jalan (Cr_{Δ}) dan kapasitor start ($C_{s\Delta}$) dari gambar 2, adalah sebagai berikut^[2].

$$C_{st\Delta} = \frac{(0,11033) \cdot (I_L)}{(f) \cdot (V_{LN})} \text{ (Farad)} \quad (1)$$

$$Cr_{\Delta} = 0,0693 \frac{I_{ph}}{(f) \cdot (V_{LN})} \text{ (Farad)} \quad (2)$$

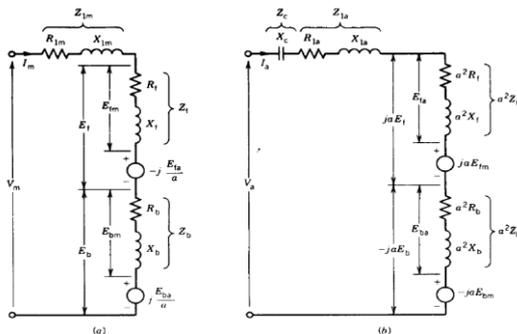
$$Cr_{\Delta} = C_{st\Delta} - Cr_{\Delta} \text{ (Farad)} \quad (3)$$

yang mana:

- I_L = arus nominal motor induksi 3-fasa (A)
- I_{ph} = arus yang melewati kumparan motor (A)
- f = frekuensi sumber (Hz)
- V_{LN} = sumber tegangan 1-fasa (V)

2. TEORI

Saat motor induksi 3-fasa beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan menggunakan rangkaian seperti gambar 2, maka motor akan bekerja seperti halnya motor induksi 1-fasa jenis kapasitor jalan. Bentuk rangkaian ekuivalen motor induksi 3-fasa ini saat beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa kemudian dapat dibuatkan seperti gambar 3 berikut^[7].



Gambar 3. Rangkaian ekuivalen motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor jalan;
 a) rangkaian kumparan utama,
 b) rangkaian kumparan bantu

Dari gambar 3 dapat dijabarkan;

$$V_m = I_m(Z_{lm} + Z_f + Z_b) - j \frac{E_{fa}}{a} + j \frac{E_{ba}}{a} \quad (4)$$

$$V_a = I_a(Z_c + Z_{la} + a^2 Z_f + a^2 Z_b) + ja E_{fm} - ja E_{bm} \quad (5)$$

$$V_a = V_m = V_s = V_{LN}, \text{ tegangan sumber 1-fasa (V)} \quad (6)$$

$$I_s = I_m + I_a, \text{ arus total masuk ke motor (A)} \quad (7)$$

Yang mana:

- I_a = arus kumparan bantu (A)
- I_m = arus kumparan utama (A)
- $Z_{la} = R_{la} + jX_{la}$, adalah impedansi kumparan bantu
- $Z_{lm} = R_{lm} + jX_{lm}$, adalah impedansi kumparan utama
- $Z_{la} = R_{la} + jX_{la}$, adalah impedansi kumparan bantu
- $Z_c = -jX_c$, adalah impedansi kapasitor yang terhubung dengan kumparan bantu
- Z_f = impedansi untuk arah medan maju
- Z_b = impedansi untuk arah medan mundur
- a = rasio lilitan pada motor induksi

dan

$$E_{fa} = I_a a^2 Z_f \quad (8)$$

$$E_{ba} = I_a a^2 Z_b \quad (9)$$

$$E_{fm} = I_m Z_f \quad (10)$$

$$E_{bm} = I_m Z_b \quad (11)$$

Motor induksi 3-fasa mempunyai 3 kumparan dengan rasio lilitan yang sama pada setiap kumparannya sehingga saat motor induksi 3-fasa beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa, maka $a = 1$.

Kemudian dengan memperhatikan gambar 2, maka diperoleh hasil $Z_{la} = 2 \times Z_{lm}$, karena kumparan bantu merupakan kumparan 'R dan S' yang diseriikan dengan kapasitor, sedangkan kumparan utama hanya kumparan 'T' saja.

Dengan memasukan persamaan (8) sampai dengan persamaan (11) ke dalam persamaan (4) dan (5) dengan nilai $a = 1$, maka dapat dibuatkan kembali rumus sebagai berikut.

$$V_s = V_m = (Z_{lm} + Z_f + Z_b)I_m - j(Z_f - Z_b)I_a \quad (12)$$

$$V_s = V_a = j(Z_f - Z_b)I_m + (Z_c + Z_{la} + Z_f + Z_b)I_a \quad (13)$$

Motor induksi 3-fasa mempunyai 3 kumparan identik yang terdistribusi 120° listrik pada slotnya. Untuk menganalisanya pada sistem 1-fasa, maka diperlukan transformasi analisa dengan menggunakan 'metode abc (stationery)' ke metode qd0 (arbitrary reference frame)' yang dapat dibuatkan sebagai berikut^[5].

$$F_{qd0s} = K_s \cdot F_{abcs} \quad (14)$$

Yang mana:

$$K_s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin\theta & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Dengan memperhatikan persamaan (15) terlihat bahwa ada faktor pengali 2/3 untuk menganalisa motor pada sistem qdO. Oleh karena itu, maka ada juga faktor pengali 2/3 pada impedansi di persamaan (12) dan persamaan (13). Selanjutnya dengan memasukkan faktor 2/3 ke dalam persamaan (12) dan (13), maka akan dapat dihitung besarnya nilai I_a , I_m dan I_s . Kemudian, besar faktor daya (fd) pada motor dapat dihitung sebagai berikut.

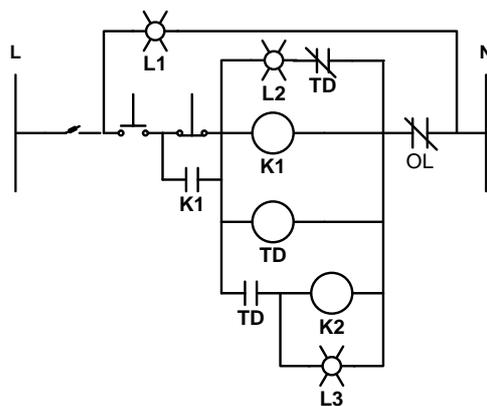
$$fd = \cos\phi \quad (16)$$

yang mana ϕ = perbedaan sudut antara V_s dengan I_s

3. METODOLOGI

Motor yang digunakan pada penelitian adalah motor induksi 3-fasa, 1,5HP, 380/220V, Y/ Δ , 2,75/4,74A, 4 kutup, 50 Hz, 1400 RPM. Dilakukan pengujian dengan menvarisikan beban pada motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa. Juga dilakukan pengujian untuk menentukan parameter motor induksi 3-fasa. Parameter yang diperoleh dari hasil percobaan ini nantinya digunakan untuk mensimulasikan motor saat beroperasi pada sistem 1-fasa dengan menggunakan rangkaian ekuivalen pendekatan dengan rumus-rumus pendekatan yang telah diberikan pada sub bab 2. Hasil simulasi dan hasil percobaan ini kemudian dibandingkan hasil percobaan di labor untuk melihat tingkat keakuratan rumus yang diberikan.

Rangkaian kendali yang digunakan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa menggunakan rangkaian seperti gambar 4 dengan menggunakan nilai kapasitor mengacu ke persamaan (1) dan (2).



Gambar 4. Bentuk rangkaian kendali untuk mengoperasikan motor

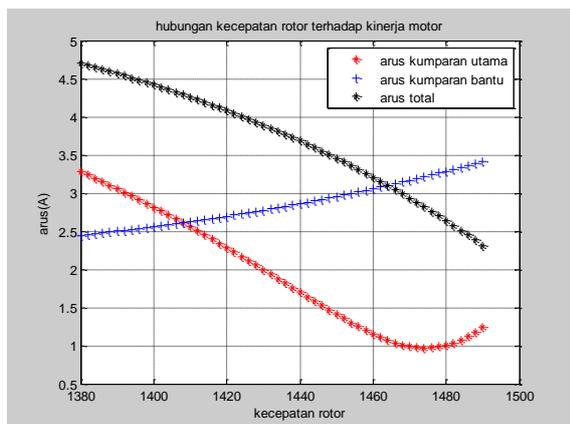
Foto peralatan yang digunakan untuk melakukan percobaan di labor diperlihatkan pada gambar 5 dan foto-foto lain yang berhubungan dengan kegiatan penelitian diperlihatkan pada bagian 'Foto alat dan kegiatan penelitian'.



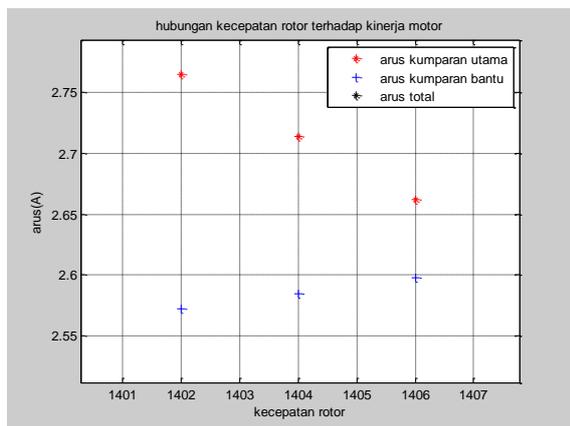
Gambar 5. Peralatan yang digunakan di labor

4. HASIL dan PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian untuk menentukan parameter motor, maka diperoleh hasil $R_1 = 11,4 \Omega$, $R_2' = 4,8589 \Omega$, $X_1 = X_2' = 9,6213 \Omega$, $X_m = 99,774 \Omega$. Dengan memasukan data parameter motor induksi 3-fasa ini ke persamaan-persamaan yang telah diberikan sebelumnya dengan menggunakan program Matlab, maka diperoleh hasil simulasi pengaruh perubahan beban (dilihat berdasarkan perubahan kecepatan rotor sebagai akibat perubahan beban) terhadap arus dan faktor daya motor seperti yang diperlihatkan pada gambar 6 sampai dengan gambar 9. Kondisi ini adalah saat motor induksi 3-fasa beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan kapasitor jalan (C_r) = 30 μ F, pada tegangan 125,5V (V_{LN}), karena V_{LL} untuk standar motor ini adalah 220 V.



Gambar 6. Hasil simulasi pengaruh perubahan kecepatan (karena perubahan beban) terhadap arus motor saat motor induksi 3-fasa beroperasi pada sistem 1-fasa pada tegangan 125,5V



Gambar 7. Gambar 6 diperbesar untuk melihat lebih dekat nilai arus pada kumparan motor pada kecepatan 1404 RPM

Bila hasil simulasi yang dibuat dibandingkan terhadap hasil percobaan di laboratorium pada kecepatan rotor 1404 RPM maka diperoleh hasil seperti tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan hasil simulasi terhadap hasil percobaan pada kecepatan rotor 1404RPM

PARAMETER	HASIL PERCOBAAN	HASIL SIMULASI	% error
Is (A)	4,7500	4,3600	8,2105
Im (A)	2,5000	2,7140	-8,5600
Ia (A)	2,4000	2,5850	-7,7083
Faktor Daya	1,0000	0,9998	0,0175

Dari tabel 1 dapat dijelaskan bahwa:

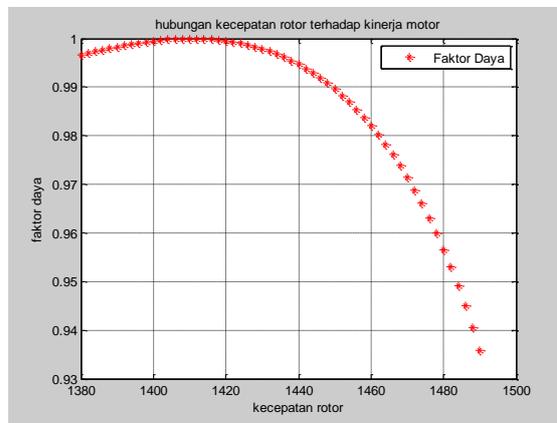
Is = adalah arus total masuk ke motor

Ia = adalah arus pada kumparan bantu

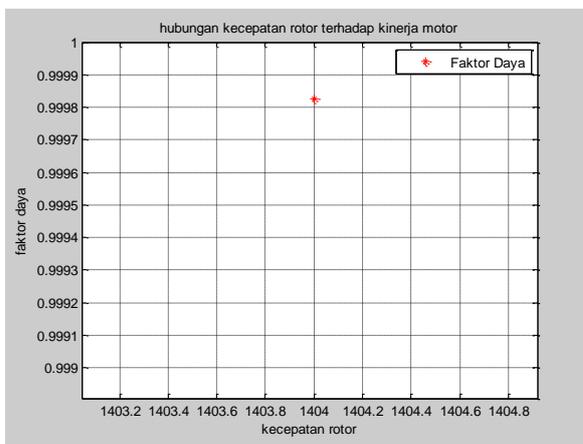
Im = adalah arus pada kumparan utama

% error = adalah faktor kesalahan hasil simulasi jika dibandingkan terhadap hasil percobaan

Dari hasil tabel 1 terlihat bahwa jika dibandingkan hasil perhitungan dari rumus yang diberikan terhadap hasil percobaan, ternyata rumus yang diberikan mempunyai tingkat keakuratan di atas 91 % karena faktor kesalahan perhitungan kurang dari 9%. Jika dilihat tingkat keakuratan terhadap faktor daya ternyata hampir 100%.



Gambar 8. Hasil simulasi pengaruh perubahan kecepatan (karena perubahan beban) terhadap faktor daya



Gambar 9. Gambar 8 diperbesar untuk melihat lebih dekat nilai faktor daya pada motor

Dengan memperhatikan gambar 6 terlihat bahwa arus yang mengalir pada kumparan bantu hampir sama dengan arus yang mengalir pada kumparan utama saat kecepatan antara 1400 rpm sampai dengan 1420 rpm. Pada kondisi ini motor bekerja dengan kinerja yang baik. Sedangkan saat motor bekerja dengan kecepatan di atas 1460 (kondisi beban yang sangat rendah), maka motor akan bergetar (agak berisik) karena arus yang melewati kumparan bantu dan kumparan utama sangat berbeda sehingga kumparan motor bekerja kurang seimbang.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Bentuk rangkaian kumparan motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa mirip dengan motor induksi 1-fasa jenis kapasitor jalan, dengan $a = 1$, tetapi dengan memberikan faktor pengali $2/3$ pada impedansi motor.
2. Tingkat keakuratan bentuk rangkaian ekuivalen yang diberikan di atas 91% untuk menghitung arus dan hamampir 100% untuk menghitung faktor daya, sehingga rangkaian ekuivalen beserta perhitungannya sangat layak digunakan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah banyak membantu kelancaran penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik, terutama kepada semua mahasiswa, teknisi dan asisten Labor Teknik Elektro Institut Teknologi Padang (ITP) yang telah aktif membantu. Tidak lupa kami ucapkan pula banyak terimakasih kepada Direktorat Jenderal Sumber Daya Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Anthony Zuriman, 2013, "A simple method for operating the three-phase induction motor on single phase supply", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 5, No. 1, 2013, ISSN. 2231-5381, Seventh Sence Research Group, India, pp. 13-16.
- [2] Anthony Zuriman, 2014, "A simple method for operating the delta coonection standard of the 3-phase induction motor on single phase supply", International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), Vol. 15, No. 9, 2014, ISSN. 2231-5381, Seventh Sence Research Group, India, pp. 13-16.
- [3] Badr M.A, Alolah A.I and Halim Abdul M.A, "A capacitor start three phase induction motor", IEEE transaction on energy conversion, Vol. 10, No. 4, December 1995, pp. 675-680.
- [4] Huang H, Fuchs EF and White J.C, "Optimal placement of the run capacitor in single phase induction motor designs", IEEE transactions on energy conversion, Vol. 3, No. 3, Septermber 1988, pp. 647-652.
- [5] Krause, P.C., 1986, " *Analysis of Electric Machinery* ", McGraw-Hill Book Company, USA.

- [6] Scheda, F. A., 1985, "Operating 3-phase motors on 1-phase power ", EC&M, January 1985, pp. 40-41.
- [7] Sen, P.C., " *Principles of Electric Machines and Power Electronics* ", John Wiley & Son, New York, 1989, pp. 397-410.
- [8] Smith, Otto J., "Large Low-Cost Single-phase Semihex™ Motor ", IEEE Trans. on Energy Conversion, 14 (4), 1999, pp. 1353-1358.

FOTO ALAT dan KEGIATAN PENELITIAN



