

## ANALISIS KINERJA MOTOR M31-ZA UNTUK STANDAR HUBUNGAN DELTA DENGAN MENGGUNAKAN PARAMETER MOTOR INDUKSI 3-FASA

Oleh:  
Zuriman Anthony

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang (ITP)  
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang, Sumatera Barat

---

### Abtrak

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya<sup>[1,2]</sup> yang saya sebut metode motor M31-ZA. Metode motor M31-ZA ini merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem 1-fasa dengan cara memasang rangkaian kapasitor seri dengan dua kumparan stator. Metode ini sangat sederhana dan mempunyai karakteristik yang baik saat beroperasi. Penelitian ini dimaksudkan untuk membuat model rangkaian ekuivalen metode M31-ZA khususnya untuk standar hubungan delta. Rumus-rumus yang diberikan difokuskan untuk menghitung arus dan faktor daya motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa. Objek penelitian adalah motor induksi 3-fasa, 1,5 HP, 220V, hubungan  $\Delta$ , 4,74A, 4 kutup, 50 Hz, 1400 RPM. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa bentuk rangkaian ekuivalen yang diberikan mempunyai tingkat keakuratan di atas 91% untuk arus dan hampir 100% untuk faktor daya motor jika dibandingkan dengan hasil percobaan di labor. Oleh karena itu, rangkaian ekuivalen ini sangat cocok digunakan untuk menganalisa karakteristik arus dan faktor daya motor induksi 3-fasa untuk berbagai kondisi beban tanpa harus mengoperasikan langsung motor ini pada sistem tenaga 1-fasa.

**Kata kunci:** rangkaian ekuivalen, parameter motor, kinerja motor

### Abstract

*This research was developed from the M31-ZA method. The M31-ZA method was a method used to operate the 3-phase induction motor on single-phase system by installing a series capacitor with two stator windings. This method is very simple and has good characteristics during operation. This research was intended to make the equivalent circuit model for the M31-ZA method particularly for delta connection standard of the motor. The formulas given are focused to calculate the current and power factor of the motor. The object used in this research was a 3-phase induction motor, 1.5 HP, 220V,  $\Delta$  relationship, 4.74A, 4 poles, 50 Hz, 1400 RPM. The result of this research shows that the equivalent circuit has an accuracy above 91% of the current and almost 100% for power factor if it was compared with the results of the experiments. Therefore, the equivalent circuit is suitable to analyze the characteristics of current and power factor of the 3-phase induction motors when operated on single-phase power systems.*

**Key words:** equivalent circuit, motor's parameter, motor's performance

---

## 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. Penerapan metode ini memberikan beberapa keuntungan diantaranya adalah torsi start yang besar, respon kecepatan rotor yang cepat dan terjadi perbaikan faktor daya pada motor<sup>[1,2,3,8]</sup>.

Metode yang diterapkan sangat beragam dan banyak meniru kepada prinsip yang digunakan oleh motor induksi 1-fasa dengan jenis motor kapasitor. Kapasitor yang digunakan dapat diletakkan pada sisi kumparan dengan impedansi yang kecil<sup>[6,8]</sup>

atau pada sisi kumparan dengan impedansi yang besar <sup>[1,2]</sup>. Beberapa rumus telah dikembangkan untuk menghitung arus dan faktor daya motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa <sup>[1,2,8]</sup>, tetapi hanya untuk beban maksimal yang mampu di kopel motor dan tidak untuk kondisi beban yang berubah. Bila motor induksi 3-fasa bisa dimodelkan dengan rangkaian ekivalennya pada sistem 1-fasa, maka akan bisa dilihat karakteristik motor ini saat beroperasi pada sistem 1-fasa dengan berbagai kondisi beban yang berubah dan bahkan pada kondisi kondisi ekstrim sekalipun tanpa merusak motor. Oleh karena itu rangkaian ekivalen motor ini perlu dibuatkan saat beroperasi pada sistem 1-fasa.

Penelitian saat ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya <sup>[1,2]</sup> yang saya sebut dengan metode motor M31-ZA. Metode motor M31-ZA ini merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem 1-fasa dengan cara memasang rangkaian kapasitor secara seri dengan dua kumparan stator seperti yang diperlihatkan pada gambar 1.

Gambar 1. Metode motor M31-ZA

Metode ini sangat sederhana dan mempunyai karakteristik yang baik saat beroperasi. Dengan menggunakan metode motor M31-ZA ini, kapasitor yang dibutuhkan untuk mengoperasikan motor lebih kecil jika dibandingkan dengan metode-metode lain yang telah berkembang saat ini, karena kapasitor diletakkan pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih besar <sup>[1,2,4]</sup>. Penelitian saat ini dimaksudkan untuk membuat model rangkaian ekivalen dalam kondisi tunak /stabil dari metode M31-ZA beserta rumus-rumus pendukungnya. Rumus-rumus yang diberikan difokuskan untuk menghitung arus dan faktor daya motor

induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa untuk berbagai kondisi beban.

Pemodelan ramkaian ekivalen motor ini di arahkan kepada bentuk rangkaian sistem pengoperasian yang diberikan pada gambar 1 dengan standar pengoperasian hubungan delta. Dengan mengacu ke gambar 1 untuk standar motor induksi 3-fasa hubungan delta, maka nilai kapasitor start total ( $C_{st}$ ), kapasitor jalan ( $C_r$ ) dan kapasitor start ( $C_s$ ) dari gambar 2, adalah sebagai berikut <sup>[2]</sup>.

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

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

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

yang mana:

$I_L$  = arus nominal motor induksi 3-fasa (A)

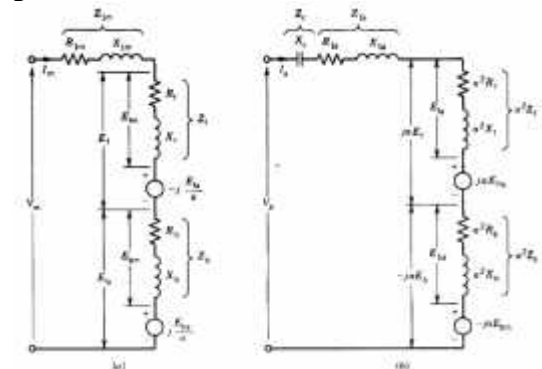
$I_{ph}$  = arus yang melewati kumparan motor (A)

$f$  = frekuensi sumber (Hz)

$V_{LN}$  = sumber tegangan 1-fasa (V)

## 2. Rangkaian Ekivalen Motor

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



Gambar 2. Rangkaian ekivalen motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor; a) rangkaian kumparan utama, b) rangkaian kumparan bantu

Dari gambar 2 dapat dijabarkan;

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

$$V_a = I_a(Z_c + Z_a + a^2 Z_f + a^2 Z_b) + jaE_{fm} - jaE_{bm} \quad (5)$$

$$V_a = V_m = V_s = V_{LN},$$

tegangan sumber 1-fasa (V) (6)

$$I_s = I_m + I_a,$$

arus total masuk ke motor (A) (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:

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

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

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

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

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 1, maka diperoleh hasil  $Z_{la} = 2 \times Z_{lm}$ , karena kumparan bantu merupakan kumparan ‘R dan S’ yang diserikan 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 menganalisisnya 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:

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

Dengan memperhatikan persamaan (15) terlihat bahwa ada faktor pengali 2/3 untuk menganalisa motor pada sistem qd0. Oleh karena itu, maka faktor pengali 2/3 ini perlu dimasukkan pada impedansi di persamaan (12) dan persamaan (13). Selanjutnya dengan memasukkan faktor 2/3 ke dalam persamaan (12) dan (13) akan diperoleh persamaan baru sebagai berikut.

$$V_s = \left\langle \frac{2}{3}(Z_{lm} + Z_f + Z_b) \right\rangle I_m - j \left\langle \frac{2}{3}(Z_f - Z_b) \right\rangle I_a \quad (16)$$

$$V_s = j \left\langle \frac{2}{3}(Z_f - Z_b) \right\rangle I_m + \left\langle \frac{2}{3}(Z_c + Z_{la} + Z_f + Z_b) \right\rangle I_a \quad (17)$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (16) dan (17), akan dapat dihitung besarnya nilai  $I_a$ ,  $I_m$  dan  $I_s$ . Kemudian, besar faktor daya (FD) pada motor dapat dihitung sebagai berikut.

$$FD = \cos w \quad (18)$$

yang mana:

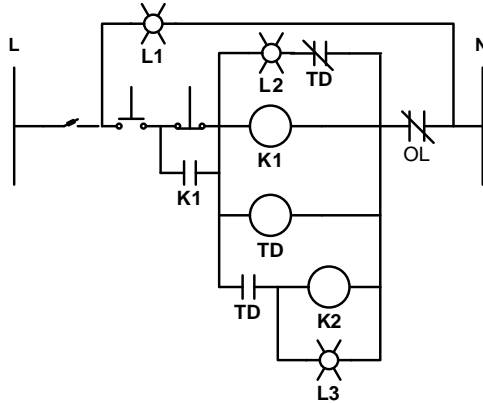
$w$  = perbedaan sudut fasa antara  $V_s$  dengan  $I_s$

### 3. Metodologi Penelitian

Motor yang digunakan pada penelitian adalah motor induksi 3-fasa, 1,5HP, 220V, 4,74A, 4 kutup, 50 Hz, 1400 RPM. 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 ekivalen pendekatan dengan rumus-rumus yang telah diberikan sebelumnya. Disamping itu juga dilakukan pengujian di labor dengan

menvariasikan beban pada motor untuk menvalidasi rumus yang dibuat.

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



Gambar 3. Bentuk rangkaian kendali untuk mengoperasikan motor

Foto peralatan yang digunakan untuk melakukan percobaan di labor diperlihatkan pada gambar 4 dan foto rangkaian peralatan kendali yang digunakan untuk mengoperasikan motor diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 4. Peralatan yang digunakan di labor



Gambar 5. Peralatan rangkaian kendali yang digunakan

#### 4. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Dari hasil pengujian untuk menentukan parameter motor, maka diperoleh hasil  $R_1 = 11,4$  ,  $R_2' = 4,8589$  ,  $X_1 = X_2' = 9,6213$  ,  $X_m = 99,774$  . Dengan memasukkan data parameter motor induksi 3-fasa ini ke persamaan-persamaan (16), (17) dan (18) dengan nilai kapasitansi kapasitor jalan ( $C_r$ ) = 30  $\mu$ F, pada tegangan 125,5V (karena  $V_{LL}$  untuk standar motor ini adalah 220 V, sehingga  $V_{LN} = 127,05V$ ) pada kecepatan rotor 1404 rpm, maka diperoleh hasil bahwa  $I_s = 4,3600$  A,  $I_m = 2,7140$  A,  $I_a = 2,5850$  A dan faktor daya = 0,9998. Jika hasil perhitungan ini dibandingkan terhadap hasil percobaan di labor, maka diperoleh hasil seperti tabel 1.

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

INDI-KATOR	HASIL PERCOBAAN	HASIL PERHITUNGAN	% salah
$I_s$ (A)	4,7500	4,3600	8,2105
$I_m$ (A)	2,5000	2,7140	-8,5600
$I_a$ (A)	2,4000	2,5850	-7,7083
Faktor Daya	1,0000	0,9998	0,0175

Dari tabel 1 dapat dijelaskan bahwa:

$I_s$  = adalah arus total masuk ke motor

$I_a$  = adalah arus pada kumparan bantu

$I_m$  = adalah arus pada kumparan utama

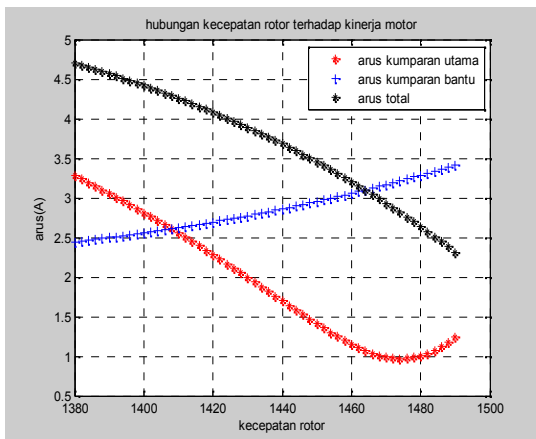
% salah = adalah faktor kesalahan hasil perhitungan jika dibandingkan terhadap hasil percobaan

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 mendekati 100%. Dari hasil tabel 1 ini terlihat bahwa rumus yang diberikan untuk menganalisa kinerja motor dapat dilakukan karena tingkat keakuratan rumus yang diberikan sangat memenuhi syarat.

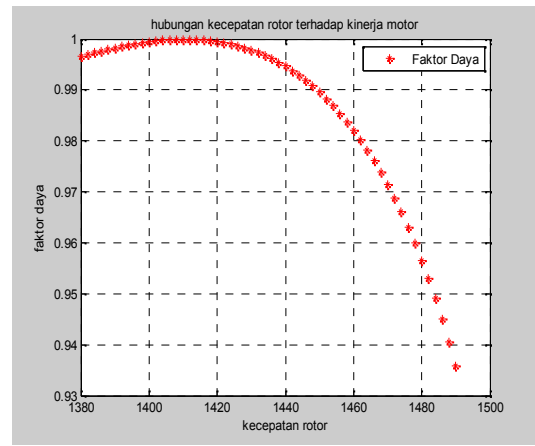
Selanjutnya, dengan menggunakan program Matlab, maka dengan memasukkan

parameter motor di atas ke dalam rumus yang telah diberikan, diperoleh hasil simulasi pengaruh perubahan beban (dilihat berdasarkan perubahan kecepatan rotor sebagai akibar perubahan beban) terhadap arus dan faktor daya motor saat beroperasi pada sistem 1-fasa seperti yang diperlihatkan pada gambar 6 sampai dengan gambar 7.

Dari gambar 6 terlihat bahwa saat motor induksi 3-fasa bekerja pada beban yang terlalu rendah (ditandai dengan kecepatan yang tinggi pada grafik) atau pada beban yang terlalu tinggi pada sistem 1-fasa (ditandai dengan kecepatan yang rendah pada grafik), kerapatan arus yang mengalir pada kumparan motor tidak sama sehingga motor beroperasi dengan kondisi kurang baik. Ini ditandai dengan adanya suara yang agak keras saat motor beroperasi pada sistem 1-fasa dengan kondisi beban yang terlalu rendah saat dilakukan pengujian di labor.



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

Dari gambar 7 terlihat bahwa dengan menggunakan metode M31-ZA ini motor selalu bekerja dengan faktor daya yang mendekati 1, baik pada kondisi beban yang sangat rendah maupun pada kondisi beban yang tinggi.

## V. 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 ini di atas 91% untuk perhitungan arus motor dan hampir 100% untuk faktor daya.
3. Metode M31-ZA mempunyai karakteristik yang sangat baik untuk faktor daya dan mempunyai karakteristik yang sangat baik juga pada kondisi beban saat arus pada kumparan bantu mempunyai nilai yang hampir sama dengan arus pada kumparan utama.

## Ucapan Terimakasih

Terimakasih saya 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.

#### Daftar Pustaka

- [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, September 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<sup>TM</sup> Motor", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 14 (4), 1999, pp. 1353-1358.