

PENDEKATAN RANGKAIAN EKIVALEN UNTUK MENGANALISIS MOTODE SCHEDA TERHADAP KINERJA ARUS, FAKTOR DAYA DAN DAYA MASUKAN MOTOR

Oleh:

Zuriman Anthony

Jurusan Teknik Elektro, Intitut Teknologi Padang (ITP)
JL. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang, Sumatera Barat
Email: zuriman@itp.ac.id, antoslah@gmail.com

Abtrak

Penelitian ini merupakan penelitian yang membahas sistem pengoperasian motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan menggunakan metode yang pernah dikemukakan oleh Scheda (1985). Metode ini adalah meletakkan kapasitor jalan seri dengan salah satu kumparannya dan hanya memberikan rumus yang berhubungan dengan nilai kapasitor saja, sehingga tidak diketahui bagaimana bentuk kinerja motor dengan kondisi beban yang berubah ubah. Penelitian kali ini dimaksudkan untuk membuat rangkaian ekuivalen motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan menggunakan metode Scheda ini. Objek penelitian ini adalah motor induksi 3-fasa, 1,5 HP, 220V, hubungan Y, 2,7A, 4 kutup, 50 Hz, 1400 RPM. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa bentuk rangkaian ekuivalen yang diberikan mempunyai tingkat keakuratan yang baik untuk menganalisa arus, faktor daya dan daya masukan motor. Oleh karena itu, rangkaian ekuivalen ini sangat cocok digunakan untuk menganalisa karakteristik arus masukan, faktor daya dan daya masukan 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, metode Scheda

Abstract

This research was purposed to analyze the method that published by Scheda (1985) for operating the 3-phase induction motor on single phase supply. This method was analyzed by a new equivalent circuit by using the parameters of the 3-phase induction motor. The object used in this research was a 3-phase induction motor, 1.5 HP, 220V, Y, 2.7A, 4 poles, 50 Hz, 1400 RPM. The result of this research shows that the equivalent circuit has a good accuracy for calculating current, power factor and input power of the motor. Therefore, the equivalent circuit was suitable to analyze the characteristics of input current, power factor and input power of the 3-phase induction motor when operated on single-phase power systems.

Key words: *equivalent circuit, motor's parameter, Scheda's method*

I. Pendahuluan

Motor induksi 3-fasa biasanya dioperasikan secara normal dengan menggunakan sistem tenaga listrik 3-fasa. Untuk kebutuhan khusus, misalnya pada daerah tertentu yang tidak mempunyai sumber listrik 3-fasa, maka motor ini masih dapat dioperasikan dengan menggunakan sumber listrik 1-fasa. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Scheda (1985) dengan merakit rangkaian kumparan motor induksi 3-fasa seperti motor induksi 1-fasa, persisnya seperti motor kapasitor jalan (capacitor run motor). Metode ini dilakukan dengan cara memasang kapasitor secara seri dengan salah satu kumparan motor yang kemudian diparalel dengan dua kumparan motor lain seperti yang diperlihatkan pada gambar 1. Dengan menggunakan metode ini tentu kemampuan motor akan berkurang jika diinginkan motor bekerja sesuai dengan arus

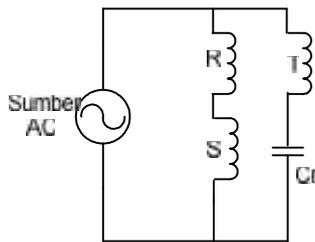
nominal dan kecepatan standarnya agar motor tidak cepat rusak. Berapa kemampuan motor dengan menggunakan metode ini agar motor masih dapat bekerja dengan baik? Dengan alasan ini tentu perlu dikaji rangkaian ekuivalen yang memadai yang dapat diterapkan pada motor saat beroperasi dengan metode Scheda ini agar motor dapat dianalisa dengan berbagai kondisi variasi beban.

Dengan mengacu kepada gambar 1 maka tentu kondisi motor dengan menggunakan metode Scheda ini akan dapat dianalisa dengan menggunakan rangkaian ekuivalen yang mirip dengan motor induksi 1-fasa dengan jenis motor kapasitor jalan.

Penelitian saat ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya^[1,2] 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.

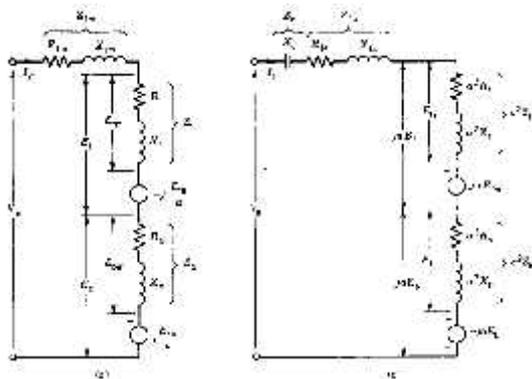
Penelitian saat ini dimaksudkan untuk membuat model rangkaian ekuivalen dalam kondisi tunak /stabil dari metode metode Schedar beserta rumus-rumus pendukungnya. Rumus-rumus yang diberikan difokuskan untuk menghitung arus, faktor daya dan kecepatan motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa dengan menggunakan metode Schedar.



Gambar 1. Bentuk rangkaian hubungan kumparan pada terminal motor dengan Metode Schedar^[4].

2. Rangkaian Ekuivalen

Dengan mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa seperti yang digunakan pada gambar 1, maka motor akan bekerja seperti halnya motor induksi 1-fasa dengan jenis motor kapasitor jalan. Bentuk rangkaian ekuivalen motor ini selanjutnya dapat dibuatkan seperti gambar 2^[1,5].



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor;
a) rangkaian kumparan utama,
b) rangkaian kumparan bantu^[1,5]

Dengan mengacu ke gambar 2 ini kemudian dapat dijabarkan sebagai berikut^[1,5].

$$V_m = I_m(Z_{lm} + Z_f + Z_b) - j \frac{E_{fa}}{a} + j \frac{E_{ba}}{a} \quad (1)$$

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

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

tegangan sumber 1-fasa (V) (3)

$$I_L = I_m + I_a,$$

arus total masuk ke motor (A) (4)

yang mana dari gambar 1 dan gambar 2:

- 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 ()
- C_r = Kapasitansi kapasitor jalan (F)
- $X_c = 1/(2 \cdot f \cdot C_r)$ ()
- $Z_c = -jX_c$, 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:

$$E_{fa} = I_a a^2 Z_f \quad (V) \quad (5)$$

$$E_{ba} = I_a a^2 Z_b \quad (V) \quad (6)$$

$$E_{fm} = I_m Z_f \quad (V) \quad (7)$$

$$E_{bm} = I_m Z_b \quad (V) \quad (8)$$

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 $Z_{lm} = 2 \times Z_{la}$, karena kumparan bantu merupakan sisi kumparan yang diberi tanda 'T' yang diserikan dengan kapasitor dan kumparan utama merupakan sisi kumparan yang diberi tanda 'R' yang diserikan dengan kumparan yang diberi nama 'S'.

Dengan memasukan persamaan (5) sampai dengan persamaan (8) ke dalam persamaan (1) dan (2) dengan nilai $a=1$, maka dapat dibuatkan kembali rumus sebagai berikut.

$$V_s = V_m = (Z_{lm} + Z_f + Z_b)I_m - j(Z_f - Z_b)I_a \quad (9)$$

$$V_s = V_a = j(Z_f - Z_b)I_m + (Z_c + Z_{la} + Z_f + Z_b)I_a \quad (10)$$

Diketahui bahwa motor induksi 3-fasa mempunyai 3 kumparan identik yang terdistribusi 120^o listrik pada slotnya. Untuk itu diperlukan transformasi analisa dengan

menggunakan ‘metode abc (*stationery*) ke metode qd0 (*arbitrary reference frame*)’ untuk menganalisanya pada sistem 1-fasa, yang dapat dibuatkan sebagai berikut ^[1,5].

$$F_{qd0s} = K_s \cdot F_{abc} \quad (11)$$

Yang mana:

$$K_s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \alpha & \cos(\alpha - \frac{2f}{3}) & \cos(\alpha + \frac{2f}{3}) \\ \sin \alpha & \sin(\alpha - \frac{2f}{3}) & \sin(\alpha + \frac{2f}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Dari persamaan (12) terlihat bahwa ada faktor pengali 2/3 yang harus digunakan untuk menganalisa motor pada sistem qd0. Oleh karena itu, maka faktor pengali 2/3 ini sangat memengaruhi nilai impedansi pada persamaan (9) dan (10). Karena kapasitor diletakkan pada salah satu kumparan ‘T’ saja, maka ada 2 kumparan lain yang bekerja sama yang paralel dengan kumparan ini. Oleh karena itu, faktor 2/3 ini diganti dengan faktor 3/2 untuk dimasukkan pada persamaan (9) dan (10). Dengan kondisi ini maka persamaan (9) dan persamaan (10) selanjutnya akan berubah menjadi:

$$V_s = \left\langle \frac{3}{2}(Z_{lm} + Z_f + Z_b) \right\rangle I_m - j \left\langle \frac{3}{2}(Z_f - Z_b) \right\rangle I_a \quad (13)$$

$$V_s = j \left\langle \frac{3}{2}(Z_f - Z_b) \right\rangle I_m + \left\langle \frac{3}{2}(Z_c + Z_{la} + Z_f + Z_b) \right\rangle I_a \quad (14)$$

Untuk selanjutnya, dari persamaan (13) dan (14) ini, kemudian dapat dihitung besarnya nilai I_a , I_m dan I_L . Besar daya masukan (P_{in}) dan faktor daya (FD) pada motor selanjutnya dapat dihitung sebagai berikut .

$$P_{in} = V_s \cdot I_L \cdot \cos w \quad (15)$$

$$FD = \cos w \quad (16)$$

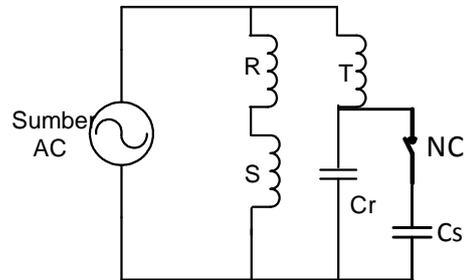
yang mana:

w = perbedaan sudut fasa antara V_s dengan I_L

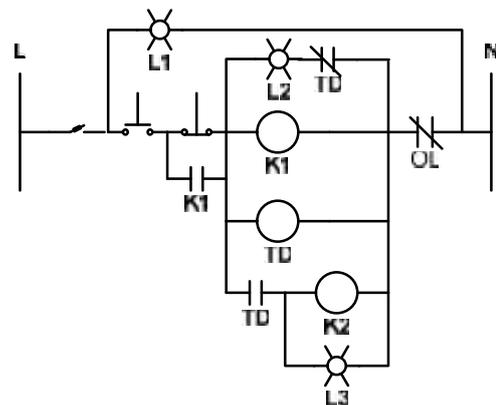
3. Metodologi Penelitian

Motor yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi 3-fasa, 1,5HP, 220V, Y, 2,7A, 4 kutup, 50 Hz, 1400 RPM. Untuk menstart motor digunakan kapasitor start (Cs) = 85 μ F dan kapasitor jalan (Cr) = 30 μ F dengan saklar normali close (NC) yang diterapkan untuk memutuskan hubungan kapasitor start setelah motor jalan (beroperasi).

Pemilihan kapasitor jalan ini dimaksudkan untuk mempertimbangkan agar arus yang melewati kumparan motor tidak melebihi arus nominalnya. Bentuk rangkaian kapasitor pada kumparan motor ini diperlihatkan pada gambar 3 dengan rangkaian kendali motor diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 3. Bentuk rangkaian hubungan kapasitor start (Cs) dan kapasitor jalan (Cr) pada terminal motor

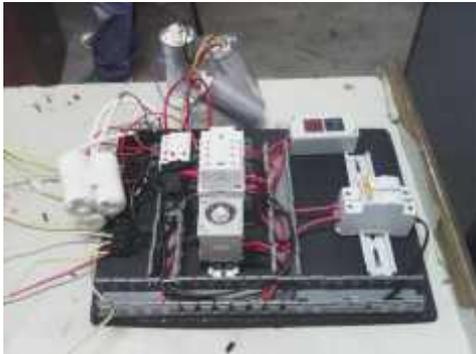


Gambar 4. Bentuk rangkaian kendali untuk mengoperasikan motor

Untuk memvalidasi rumus yang diberikan terhadap metode yang dianalisa, maka dilakukan percobaan di labor sebagai sebagai pembanding terhadap hasil simulasi. Untuk menganalisa kinerja motor lebih lanjut, maka digunakan program Matlab untuk melihat kinerja motor dengan berbagai variasi beban. Data motor yang digunakan untuk simulasi dengan program Matlab adalah data hasil percobaan di labor dalam menentukan parameter motor. 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 yang telah diberikan sebelumnya.

Foto-foto rangkaian kapasitor dan peralatan yang digunakan pada rangkaian kendali motor yang digunakan untuk

melakukan percobaan di labor diperlihatkan pada gambar 5 dan foto peralatan lain yang digunakan untuk mengambil data hasil percobaan labor diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 5. Kapasitor dan peralatan yang digunakan pada rangkaian kendali motor



Gambar 6. Peralatan pendukung yang digunakan di labor

4. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Dari hasil pengujian untuk menentukan parameter motor, maka diperoleh hasil pertama dengan data $R_1 = 11,4$, $R_2' = 5,7913$, $X_1 = X_2' = 10,9635$, $X_m = 111,4465$. Dengan memasukkan data parameter motor induksi 3-fasa ini ke persamaan-persamaan (13) sampai dengan persamaan (16) dengan nilai kapasitansi kapasitor jalan (C_r) = 30 μ F, tegangan sumber 219,1V pada kecepatan $N_r = 1366$ rpm, maka diperoleh perbandingan hasil perhitungan terhadap hasil percobaan di labor seperti tabel 1.

Dari hasil tabel 1 terlihat bahwa jika dibandingkan hasil perhitungan dari rumus yang diberikan terhadap hasil percobaan, ternyata rangkaian ekuivalen dengan rumus yang diberikan mempunyai tingkat keakuratan yang tinggi (faktor kesalahan yang rendah), kecuali pada faktor daya dimana hasil perhitungan memperlihatkan 0,9945 sedangkan

alat ukur hanya memperlihatkan 0,9. Dari hasil tabel 1 ini terlihat bahwa rumus yang diberikan untuk menganalisa arus masukan, faktor daya dan daya masukan motor untuk beban yang bervariasi dapat dilakukan karena tingkat keakuratan rumus yang diberikan sangat memenuhi syarat.

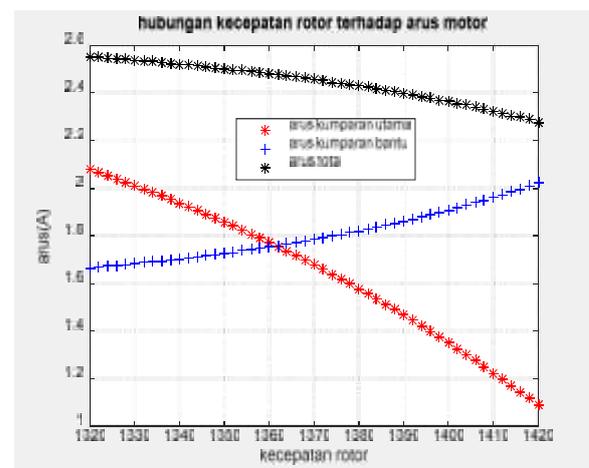
Tabel 1. Perbandingan hasil perhitungan terhadap hasil percobaan pada kecepatan rotor 1366 rpm

PARAMETER	HASIL PERCOBAAN	HASIL PERHITUNGAN	% salah
I_L (A)	2,517	2,465	2,066
Faktor Daya	0,9	0,9945	10,5
Pin (W)	496,327	537,111	7,593

Dari tabel 1 dapat dijelaskan bahwa:

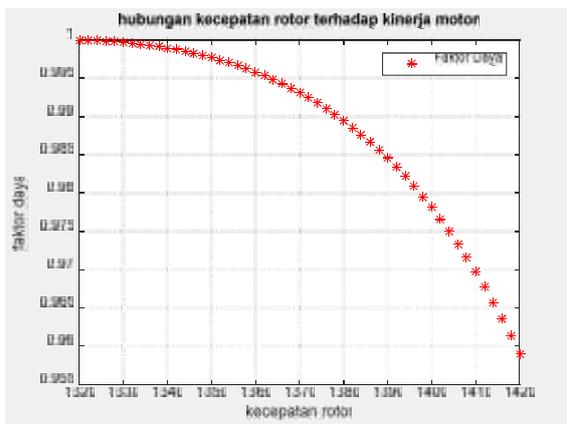
I_L = adalah arus total masuk ke motor
 % salah = adalah faktor kesalahan hasil perhitungan jika dibandingkan terhadap hasil percobaan

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 akibat perubahan beban) terhadap arus, faktor daya dan daya masukan motor saat beroperasi pada sistem 1-fasa seperti yang diperlihatkan pada gambar 6 sampai dengan gambar 8.

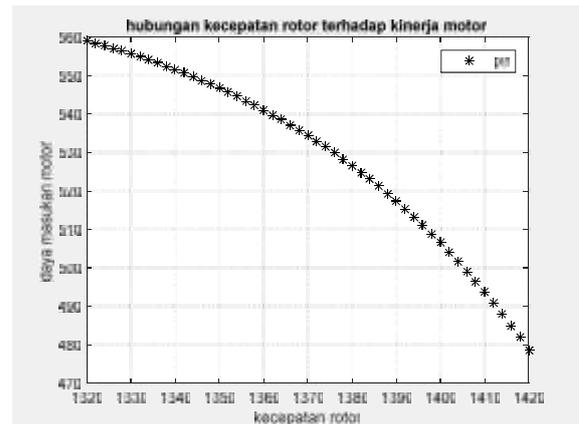


Gambar 6. Hasil simulasi pengaruh perubahan kecepatan terhadap arus motor saat motor induksi 3-fasa beroperasi pada sistem 1-fasa

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. Arus yang mengalir pada kumparan bantu terlihat lebih besar saat beban rendah dibandingkan dengan arus yang melewati kumparan utama. Untuk kondisi beban tertentu ternyata arus kumparan utama yang lebih besar jika dibandingkan dengan arus yang melewati kumparan bantu, tetapi pada kondisi ini motor bekerja lebih tenang dan dengan kondisi kecepatan di bawah 1400 rpm (dibawah kecepatan standar). Berdasarkan kondisi terlihat bahwa torsi yang dihasilkan motor sudah tidak mampu mengkopel beban sesuai dengan kecepatan standarnya.



Gambar 7. Hasil simulasi pengaruh perubahan kecepatan (karena perubahan beban) terhadap faktor daya motor



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

Dengan memperhatikan gambar 7 terlihat bahwa motor selalu beroperasi dengan faktor daya mendekati 1 (satu) baik pada kondisi beban yang rendah maupun pada kondisi beban yang tinggi. Ini terjadi karena adanya penggunaan kapasitor yang dipasang seri dengan salah satu kumparan motor.

Selanjutnya, dengan memperhatikan gambar 8 terlihat bahwa daya masukan motor makin naik seiring dengan bertambahnya beban (diperlihatkan dengan turunnya kecepatan motor). Tetapi jika mengacu kepada kemampuan motor dengan menggunakan metode Sheda ini yang dilihat berdasarkan kecepatan standar motor (1400 rpm), maka motor ini hanya mampu beroperasi dengan daya masukan sangat rendah. Jika dibiarkan motor ini beroperasi di bawah kecepatan standarnya dikhawatirkan akan memperpendek umur motor.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Bentuk rangkaian ekivalen motor dengan menggunakan metode Sheda mirip dengan motor induksi 1-fasa jenis kapasitor jalan, dengan $a = 1$, tetapi dengan memberikan faktor pengali $3/2$ pada persamaan impedansi motor.
2. Tingkat keakuratan hasil percobaan terhadap hasil perhitungan sangat baik dan bisa digunakan untuk menganalisa kinerja arus, faktor daya dan daya masukan motor saat beroperasi dengan beban yang bervariasi.
3. Metode Sheda ini mempunyai kemampuan yang rendah jika diterapkan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa jika mengacu kepada kecepatan standar motor .

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 diucapkan pula banyak terimakasih kepada Direktorat Jenderal Sumber Daya Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Anthony Zuriman, 2015, "Equevalent circuits for the M31D-ZA motor's method (case studies: currents and power factor of the motor)", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Vol. 25, No. 1, July 2015, ISSN. 2231-5381, Seventh Sence Research Group, India, pp. 49-53.
- [2] 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.
- [3] Krause, P.C., 1986, "*Analysis of Electric Machinery*", McGraw-Hill Book Company, USA.
- [4] Scheda, F. A., 1985, "Operating 3-phase motors on 1-phase power", *EC&M*, January 1985, pp. 40-41.
- [5] Sen, P.C., "*Principles of Electric Machines and Power Electronics*", John Wiley & Son, New York, 1989, pp. 397-410.

PENULIS



Zuriman Anthony adalah seorang dosen Teknik Elektro di Institut Teknologi Padang. Pria ini selalu aktif dalam kegiatan penelitian baik yang didanai oleh pemerintah, institusi ataupun dengan biaya sendiri. Pria ini mempunyai keahlian di bidang Mesin-mesin listrik dan kendali terutama tentang motor induksi. Saat ini, penelitiain pria ini lebih banyak membahas tentang suatu metode baru untuk pengopeasian motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa. Pria ini banyak mengkaji tentang rumus-rumus dengan rangkaian pendekatan baru untuk menganalisa kinerja motor induksi 3-fasa, baik saat beroperasi pada sistem 3-fasa maupun pada sistem 1-fasa.