

Pengoperasian Motor Induksi 3-Fasa Hubungan Delta Pada Sistem Tenaga 1-Fasa Yang Ditinjau Dari Efisiensi dan Kemampuan Motor

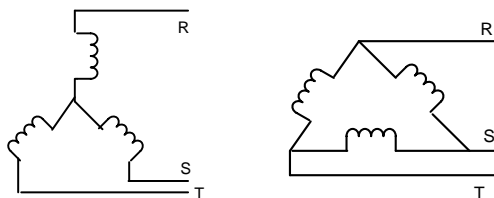
Zuriman Anthony, Erhaneli, Rudy Agam Alamsyah, Rahmadi Hermanto, Erick Sullivan
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
 Institut Teknologi Padang
 Padang, Indonesia

Abstrak—Penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan metode baru yang sederhana dalam mengoperasikan motor induksi 3-fasa hubungan delta pada sistem tenaga 1-fasa dengan menggunakan rangkaian kapasitor pada motor. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisa kemampuan dan efisiensi motor saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa. Penelitian ini dilakukan di Labor Teknik Elektro Institut Teknologi Padang dengan objek penelitian adalah motor induksi 3-fasa, 1,5 HP, 380/220V, Y/ Δ , 2,75/4,74A, 4 kutup, 50 Hz, 1400 RPM. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa motor dapat beroperasi dengan baik pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan beban maksimum 66% dari beban nominal 3-fasanya dengan efisiensi 99,76 % (terjadi perbaikan efisiensi pada motor).

Kata kunci—rangkaiian kapasitor, arus kumparan motor, rangkaian kendali.

I. PENDAHULUAN

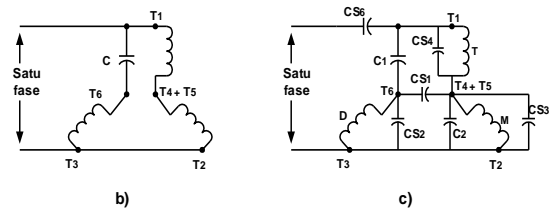
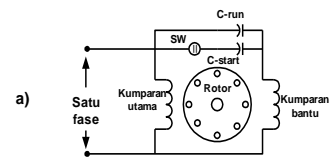
Motor induksi 3-fasa merupakan motor listrik yang banyak digunakan saat ini, terutama di dunia industri karena motor ini banyak tersedia dengan daya yang besar. Motor ini beroperasi secara normal dengan menggunakan sistem tenaga listrik AC 3-fasa. Pada daerah tertentu yang hanya tersedia sistem tenaga listrik 1-fasa, maka tidak mungkin mengoperasikan motor ini pada sistem 3-fasa. Oleh karena itu motor ini terpaksa dioperasikan pada sistem 1-fasa dengan menggunakan metode yang baik dan sederhana sehingga motor ini dapat dioperasikan dengan biaya yang rendah.



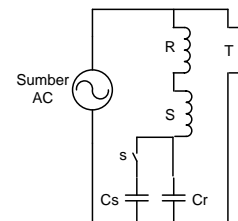
a) Hubungan bintang b) hubungan segitiga
 Gambar 1. Bentuk hubungan kumparan motor induksi 3-fase dalam sistem pengoperasiannya

Motor induksi 3-fase ini mempunyai kumparan 3-fase identik yang terpisah antara satu sama lainnya sebesar 120° listrik. Secara umum motor ini mempunyai 2 bentuk hubungan kumparan motor, yaitu sistem hubungan bintang dan sistem hubungan delta seperti yang diperlihatkan pada gambar 1.

Motor induksi 3-fase secara normal beroperasi dengan menggunakan sistem tenaga listrik 3-fasa dan juga dapat dioperasikan pada sistem 1-fasa dengan merubah bentuk hubungan kumparan motor seperti motor induksi 1-fasa seperti yang diperlihatkan pada gambar 2^[3].



Gambar 2. Bentuk pengoperasian motor induksi pada sistem 1-fasa : a) motor kapasitor (motor 1-fasa); b) motor induksi 3-fasa menurut Scheda^[13] c) motor induksi 3-fasa menurut Smith^[15]



Gambar 3. Bentuk lain sistem pengoperasian motor induksi pada sistem 1-fasa^[5]

Gambar 3 juga memperlihatkan rangkaian kapasitor untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa sistem hubungan bintang pada sistem tenaga 1-fasa^[5,7]. Dengan memperhatikan gambar 3 dapat dijelaskan bentuk perhitungan nilai kapasitor start (C_{s_y}) dan kapasitor jalan (C_{r_y}) untuk mengoperasikan motor hubungan bintang^[7] pada sistem 1-fasa sebagai berikut.

$$C_{s_y} = \frac{(0,1757) \cdot (I_L)}{(f) \cdot (V_{LN})} \quad (1)$$

$$C_{r_y} = k \frac{I_L}{(12,5664)(f) \cdot (V_{LN})} \text{ (Farad)} \quad (2)$$

yang mana:

- I_L = arus nominal motor induksi 3-fasa (A)
- f = frekuensi sumber (Hz)
- V_{LN} = sumber tegangan 1-fasa (V)
- k = 0,7679 untuk motor yang beroperasi dari beban rendah hingga 70% dari beban nominal 3-fasanya
- k = 1 untuk motor yang beroperasi dari beban 70% hingga 85% dari beban nominal 3-fasanya
- C_{s_y} dan C_{r_y} dalam satuan Farad

Untuk mengoperasikan motor dengan stardar hubungan delta, maka rumus pada persamaan (1) dan (2) akan berubah karena tegangan yang diberikan ke motor menjadi V_{LN} , sehingga nilai tegangan yang diberikan pada kumparan motor hanya sebesar $1/1,732$ dari tegangan seharusnya sehingga menyebabkan terjadinya penurunan torsi pada motor. Keadaan ini akan membuat kemampuan motor turun dari standar nominal 3-fasanya.

Untuk menghitung nilai kapasitor start yang diterapkan pada motor induksi 3-fasa hubungan delta agar dapat beroperasi dengan baik pada sistem 1-fasa dapat juga mengacu kepada pemilihan 'torsi start maksimum per ampere' dengan acuan sistem perunit seperti rumus dibawah ini^[3,5,7].

$$X_C = X_a + \frac{-X_m R_a + |Z_m| \sqrt{R_a(R_a + R_m)}}{R_m} \quad (3)$$

dengan :

- X_C = Reaktansi kapasitif dari kapasitor start yang akan digunakan (dalam pu)
- X_a = Reaktansi induktif dari kumparan R dan S (dalam pu)
- R_a = Tahanan dari kumparan R dan S (dalam pu)
- X_m = Reaktansi induktif dari kumparan T (dalam pu)
- R_m = Tahanan dari kumparan T (dalam pu)
- Z_m = Impedansi dari kumparan T (dalam pu)

Untuk mempermudah penyelesaian, maka semua parameter pada persamaan (3) dijadikan dalam sistem per-unit (pu). Nilai X_c yang sesungguhnya, harus dikali dengan nilai impedansi dasar motor menggunakan rumus sebagai berikut^[3,5,7,9].

$$Z_d = \frac{V^2}{VA} \quad (4)$$

dengan :

- V = tegangan sumber 1-fase yang digunakan
- VA = daya semu motor induksi 3-fase yang digunakan

Z_d = Impedansi dasar motor

Selanjutnya akan diperoleh nilai reaktansi kapasitif kapasitor yang digunakan sebesar^[3,5,7].

$$X_C = (X_{C(pu)}) \cdot x \cdot (Z_d) \quad (5)$$

Selanjutnya, besarnya nilai 'total kapasitor start (C_{st})' yang dibutuhkan diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut^[3,5,7].

$$C_{st} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} \text{ (Farad)} \quad (6)$$

dengan :

- f = frekuensi sumber (Hz)

π = 3,141593

$C_{st} = C_s + C_r$ (Farad)

C_s = kapasitansi kapasitor start

$X_{C(pu)} = 2,5$ pu^[5,7]

Selanjutnya, besar nilai kapasitor jalan yang digunakan dapat dihitung dengan mempertimbangkan arus yang melewati kumparan motor sebagai berikut.

$$C_r = \frac{(I_{ph})}{(\omega)(V_C)} \quad (7)$$

dengan:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Karena kapasitor dipasang seri dengan kumparan R dan S (maka impedansinya menjadi 2 kali dari kumparan T), maka tegangan pada kapasitor (V_C) saat ini adalah 2 kali tegangan sumber (V), atau dapat dibuatkan^[5,6]:

$$V_C = 2 \times V \quad (8)$$

Besarnya daya reaktif (VARC) pada kapasitor menjadi^[5,6]:

$$\text{VARC} = \omega \cdot C_r \cdot (V_C)^2 \quad (9)$$

VARC ini selanjutnya menjadi daya semu motor saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa.

Bila VAR3ph merupakan daya reaktif motor saat beroperasi pada sistem tenaga 3-fasa, maka besarnya daya reaktif motor induksi pada sistem tenaga 1-fasa (VARM) menjadi^[5,6,15]:

$$\text{VARM} = \text{VAR3ph} - \text{VARC} \quad (10)$$

Besarnya arus masuk ke motor (I_L), faktor daya ($\cos \phi$) dan daya masukan motor (P_L) saat beroperasi pada sistem 1-fasa menjadi^[5,7,15]:

$$I_{ST} = \frac{\text{VAR}_C}{V} \quad (11)$$

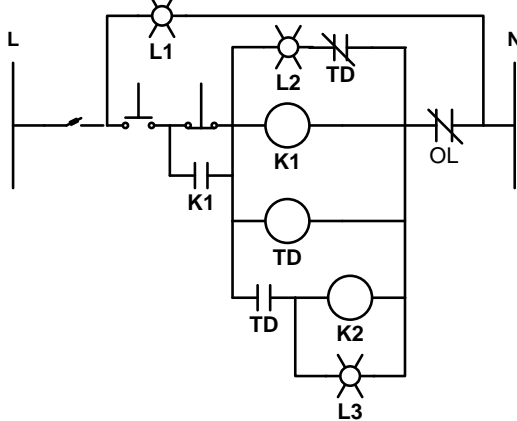
$$\sin \phi = \frac{\text{VAR}_M}{\text{VAR}_C} \quad (12)$$

$$\text{faktor daya} = \cos \phi = \cos(\sin^{-1} \phi) \quad (13)$$

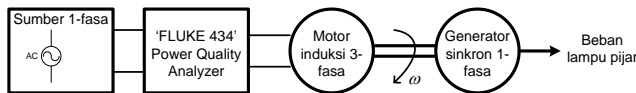
$$P_L = VAR_C \cdot \cos \phi \quad (14)$$

II. METODOLOGI PENELITIAN

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. Motor diuji pada sistem 3-fasa dengan sistem hubungan delta. Bentuk rangkaian kapasitor yang digunakan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa diperlihatkan pada gambar 3 dan bentuk rangkaian kendali motor diperlihatkan pada gambar 4. Selanjutnya, bentuk hubungan motor dan peralatan lain untuk melihat kinerja motor diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 4. Bentuk rangkaian kendali untuk mengoperasikan motor



Gambar 5. Bentuk hubungan motor dengan alat ukur dan beban motor

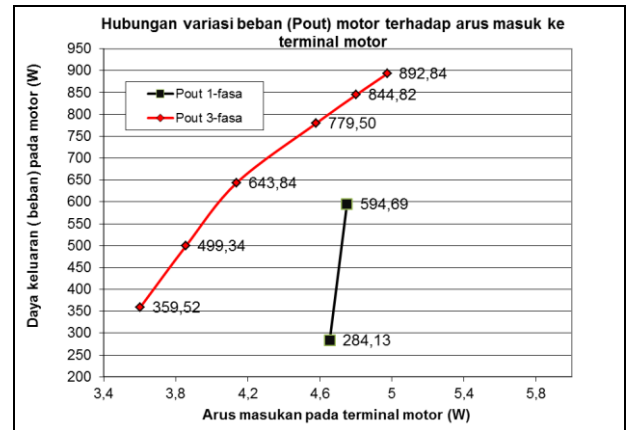
Bentuk rangkaian pada gambar 3 digunakan dengan memvariasikan nilai kapasitor start dan kapasitor jalan agar diperoleh nilai kapasitansi kapasitor yang optimal untuk mengoperasikan motor pada sistem tenaga 1-fasa. Semua perhitungan pada motor mengacu kepada rumus-rumus yang telah diberikan sebelumnya dengan memperhatikan arus yang melewati kumparan motor agar motor tidak berumur pendek.

III. HASIL PENELITIAN

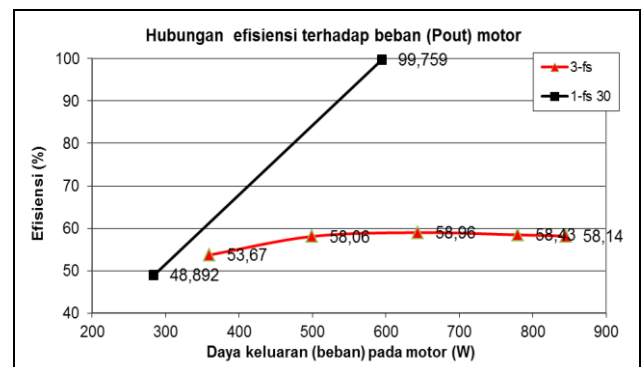
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh bentuk kinerja motor terhadap kemampuan dan

efisiensi motor saat beroperasi pada sistem tenaga 3-fasa dan sistem tenaga 1-fasa sebagai berikut.

Garis merah pada gambar adalah karakteristik saat motor beroperasi pada sistem 3-fasa, sedangkan garis hitam adalah saat motor beroperasi pada sistem 1-fasa dengan menggunakan kapasitor jalan 30 uF. Pemilihan nilai kapaitor jalan 30 uF merupakan nilai terbaik dari hasil pengujian di labor.



Gambar 6. Grafik perbandingan daya keluaran motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem 3-fasa dan sistem 1-fasa



Gambar 7. Grafik perbandingan efisiensi motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem 3-fasa (3-fs) dan sistem 1-fasa (1-fs 30)

IV. PEMBAHASAN

Dari gambar 6 terlihat bahwa saat motor induksi 3-fasa hubungan delta beroperasi pada sistem 1-fasa, maka motor hanya mampu beroperasi dengan baik dengan arus yang melewati kumparan tidak melewati arus standarnya hanya sebesar $(594,69/892,84) \times 100\% = 66,61\%$ dari beban penuh 3-fasanya (perhatikan gambar 6). Tetapi pada kondisi ini motor beroperasi dengan efisiensi 99,76% (dari gambar 7). Dari hasil ini terlihat bahwa kemampuan motor untuk dibebani turun menjadi 66,61% tetapi efisiensi maik naik hingga hampir 100%

sehingga motor beroperasi dengan rugi-rugi daya yang kecil.

Dengan mengacu ke persamaan (3) sampai dengan (6) dengan menggunakan data motor yang diteliti, dan acuan kepada arus yang melewati kumparan motor, maka diperoleh nilai $C_{st} = 82,34 \mu\text{F}$. Selanjutnya, dengan menggunakan persamaan (7) maka diperoleh nilai kapasitansi kapasitor jalan $C_r = 34,46 \mu\text{F}$. Dari hasil percobaan di labor diperoleh bahwa nilai C_r yang cocok adalah $30 \mu\text{F}$. Dari hasil ini dapat dibuat bahwa nilai kapasitor jalan yang cocok adalah $30/34,46 = 0,87$ dari rumus persamaan (7). Oleh karena itu persamaan kapasitor jalan yang cocok untuk motor standar hubungan delta dapat dibuatkan menjadi:

$$C_{r\Delta} = 0,87 \times \frac{(I_{ph})}{(\omega)(V_C)} \quad (15)$$

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Bentuk rangkaian yang sederhana untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa hubungan delta pada sistem tenaga 1-fasa adalah dengan cara memasang kapasitor start dan kapasitor jalan seperti pada gambar 3 dengan menggunakan persamaan (14) untuk menentukan nilai kapasitor jalannya (C_r).
2. Metode yang dibuat dapat mengoperasikan motor induksi 3-fasa hubungan delta pada sistem tenaga 1-fasa dengan baik hingga beban maksimal 66% dari beban nominal 3-fasanya dengan efisiensi yang mendekati 100%.

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 Laboratorium Teknik Elektro Institut Teknologi Padang (ITP) yang telah aktif membantu. Tidak lupa saya ucapkan pula banyak terimakasih kepada DIKTI yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anthony Zuriman, Tumiran and Berahim Hamzah, "Kinerja pengoperasian motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa dengan menggunakan kapasitor", *Journal Teknosain*, Accreditation No. ISSN: 1411-6162, Vol. 16. No. 1, January 2003, UGM Yogyakarta, 2003, pp.. 1-12.
- [2] Anthony Zuriman, "Analisa kapasitor jalan pada metode Semi-hex™ motor", *Proceeding SNVMS 2004*, ISBN: 979-96964-1-0, 2004, pp. 637-641.
- [3] Anthony Zuriman, 2004, "Perencanaan kapasitor start untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa", *Jurnal Momentum*, Vol. 2 No. 2, Agustus 2004, hal. 9-13.
- [4] Anthony Zuriman, 2005, "Perancangan sistem kendali dual fungsi pengoperasian motor induksi 3-fasa", *Jurnal Momentum*, Vol. 3 No. 2, Agustus 2005, hal. 58-63.
- [5] Anthony Zuriman, 2008, "Perancangan kapasitor jalan untuk pengoperasian motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa", *Jurnal Teknik Elektro – Ilmu dan Teknologi*, Vol. 8. No. 1, Maret 2008, Universitas Kristen Pentra, 2008, pp.. 46-51.
- [6] Anthony Zuriman, 2013, "Pengaruh penggunaan kapasitor perbaikan faktor daya terhadap arus start motor induksi 3-fasa", *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 2 No. 1, Januari 2013, ISSN No. 2252-3472, Institut Teknologi Padang, Sumbar, Indonesia.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Grainger John J and Stevenson Jr. William D, "Power system analysis", McGraw-Hill, Inc., New York, 1994.
- [10] 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.
- [11] Lukitsch Walter J, Allen and Milwaukee, "Selecting motor protection for plant and process automation", *IEEE*, No. 0-7803-4962-8198, 1998, pp. 1-6.
- [12] Pillay P and Brzezinski, "Induction motor performance when fed from single to three phase converter", *IEEE* No. 90/CH 29.35-5/90/0000-004., 1990.
- [13] Sceda, F. A., 1985, "Operating 3-phase motors on 1-phase power", *EC&M*, January 1985, pp. 40-41.
- [14] Sen, P.C., "Principles of Electric Machines and Power Electronics", John Wiley & Son, New York, 1989, pp. 397-410.
- [15] Smith, Otto J., "Large Low-Cost Single-phase Semi-hex™ Motor", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 14 (4), 1999, pp. 1353-1358.