

Perancangan Kapasitor Jalan untuk Mengoperasikan Motor Induksi 3-Fasa pada Sistem Tenaga 1-Fasa

Zuriman Anthony

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang, SUMBAR – INDONESIA
Phone: 085669006218
email: zurimananthony@yahoo.com

ABSTRAK

Metode pengoperasian motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan menggunakan kapasitor telah berkembang dengan baik. Metode ini digunakan karena mempunyai respon kecepatan yang cepat pada motor, arus start yang kecil dan perbaikan faktor daya hingga mendekati satu. Karakteristik motor saat beroperasi tergantung dari letak dan nilai kapasitor jalan yang digunakan pada motor. Penelitian ini dimaksudkan untuk membuat metode baru dalam meletakkan dan memilih kapasitor jalan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa. Data motor yang digunakan adalah motor induksi 3-fasa 1,5 kW; 220/380V; Δ/Y ; 50 Hz; 6,2/3,6A; 1400 rpm; kelas B; faktor daya 0,84 tertinggal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa motor bekerja lebih baik dan lebih efisien jika kapasitor jalan diletakkan pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih besar. Motor dapat bekerja dengan menggunakan kapasitor 25,9 μ F pada beban 95,14%, kecepatan 1400 rpm, faktor daya 0,99 mendahului, dengan distorsi harmonik arus yang lebih rendah.

Kata kunci: rangkaian kapasitor, nilai kapasitansi, daya semu pada motor (VA)

ABSTRACT

The method in operation three-phase induction motor on one-phase power supply by using capacitor had developed in success. This method has good response to rotation, less inrush current and increase power factor correction. The characteristic of the motor usually depend on the place and amplitude of the run capacitor used to the motor. Because of that, the purpose of this research is to give us a new method to place and choice the capacitance of run capacitor in operating three-phase induction motor on one phase power supply. The induction motor used was 1,5 kW, 220/380V; Δ/Y ; 50 Hz; 6,2/3,6A; 1400 rpm; B class, 0,84 lag. The result show that, the motor can be operated by using of run capacitor 25,9 μ F on 95,14% of load rating, 1400 rpm, 0,99 leading power factor, and less current harmonic distortion.

Keywords: capacitor circuit, capacitance, apparent power of motor (VA)

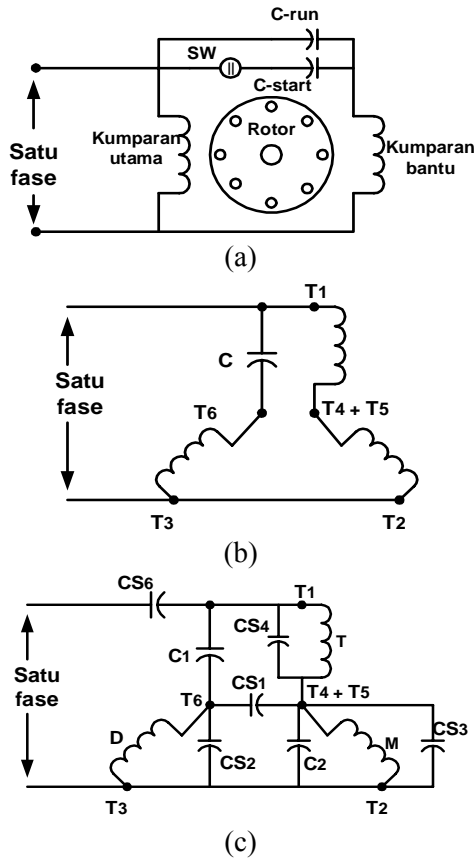
PENDAHULUAN

Pengoperasian motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik AC 1-fasa sangat dibutuhkan pada daerah pertanian, industri kecil dan daerah tertentu yang hanya mempunyai sistem tenaga listrik 1-fasa, sedangkan mereka membutuhkan motor penggerak dengan daya yang besar (motor induksi 3-fasa) yang secara normal harus dioperasikan pada sistem tenaga listrik 3-fasa [1,2]. Salah satu cara agar motor induksi 3-fasa dapat digunakan dengan baik pada kondisi ini adalah dengan mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa dengan menggunakan kapasitor [1,3].

Dalam sistem pengoperasian motor induksi 1-fasa, kapasitor boleh diletakkan pada sisi kumparan bantu (impedansi lebih besar) atau pada sisi kumparan utama (impedansi lebih) asal kapasitor yang digunakan dapat menggerakkan motor [4]. Berdasarkan kondisi ini, maka penelitian ini dimaksudkan untuk merancang metode baru dalam mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa dengan cara menempatkan kapasitor pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih besar (kumparan bantu).

Secara umum, untuk mengoperasikan motor induksi 3-fase pada sistem tenaga 1-fase dengan menggunakan kapasitor dapat dilakukan dengan cara mengubah bentuk rangkaian kumparan motor induksi 3-fase menjadi seperti rangkaian motor induksi 1-fase jenis motor kapasitor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2008. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 8, nomor 2, September 2008.



Gambar 1. Bentuk pengoperasian motor induksi pada sistem 1-fasa: (a) motor kapasitor (b) metode yang digunakan Scheda [5] (c) metode yang digunakan Smith [6]

Pengaruh besarnya arus yang melewati kapasitor (I_C) terhadap tegangan yang diberikan pada kapasitor (V_C) dapat dibuatkan sebagai berikut.

$$I_C = \omega \cdot C \cdot V_C \quad (1)$$

dengan :

$$\omega = 2 \cdot (3,14) \cdot (f)$$

f = frekuensi sumber (Herz)

C = kapasitansi kapasitor (Farad)

Bila diinginkan motor induksi 3-fasa bekerja pada sistem tenaga 1-fasa tanpa melewati batas arus nominal kumparannya (I_{ph}), maka nilai kapasitansi kapasitor (C) yang dipakai adalah:

$$C = \frac{I_{ph}}{\omega \cdot V_C} \quad (2)$$

Besarnya daya reaktif (VAR_C) yang disumbangkan kapasitor C adalah :

$$VAR_C = V_C \times I_C \quad (3)$$

VAR_C ini akan menjadi daya semu (VA) motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa.

Bila VAR_{3ph} merupakan daya reaktif motor saat beroperasi pada sistem tenaga 3-fasa, maka besarnya daya reaktif motor induksi saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa (VAR_M) adalah:

$$VAR_M = VAR_{3h} - VAR_C \quad (4)$$

Kemudian besarnya arus (I_L), faktor daya ($\cos \phi$) dan daya masukan motor (P_L) saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa adalah:

$$I_L = \frac{VAR_C}{V} \quad (5)$$

$$\sin \phi = \frac{VAR_M}{VAR_C} \quad (6)$$

$$\cos \phi = \cos(\sin^{-1} \phi) \quad (7)$$

$$P_L = VAR_C \cdot \cos \phi \cos \quad (8)$$

Bila digunakan kapasitor start pada sisi kumparan bantu untuk menstart motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa, maka besarnya nilai reaktansi kapasitif dari “kapasitor-start” untuk menstart motor dapat dicari berdasarkan besarnya nilai torsi start maksimum dengan mengacu ke persamaan di bawah ini [7].

$$X_c = X_a + \frac{Ra \cdot R_m}{|Z_m| + R_m} \quad (9)$$

Atau dapat juga dengan pemilihan torsi start maksimum per ampere [7] seperti rumus dibawah ini [8]

$$X_c = X_a + \frac{-X_m R_a + |Z_m| \sqrt{R_a(R_a + R_m)}}{R_m} \quad (10)$$

dengan :

X_c = reaktansi kapasitif dari kapasitor start yang akan digunakan

X_a = reaktansi induktif dari kumparan bantu

X_m = reaktansi induktif dari kumparan utama

R_a = tahanan dari kumparan bantu

R_m = tahanan dari kumparan utama

Z_m = impedansi kumparan utama

Untuk memperoleh nilai X_c yang sesungguhnya dari kapasitor yang digunakan, harus diperoleh dahulu nilai impedansi dasar dari motor induksi yang digunakan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Z_d = \frac{V^2}{VA} \quad (11)$$

dengan :

V = tegangan sumber 1-fase yang digunakan

VA = daya semu motor induksi 3-fase yang digunakan

Selanjutnya akan diperoleh nilai reaktansi kapasitif sebenarnya sebesar.

$$X_c = (X_{c(pu)}) \cdot (Z_d) \quad (12)$$

Besarnya nilai kapasitor start (Cs) yang dibutuhkan selanjutnya dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$C_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} \quad (\text{satuan, Farad}) \quad (13)$$

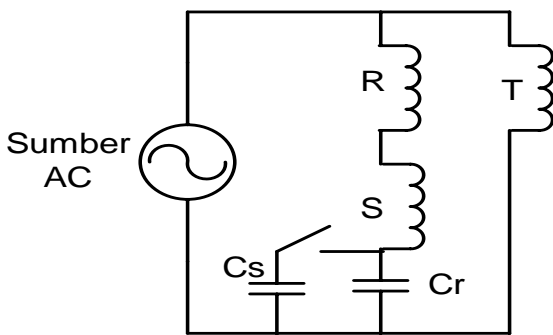
dengan :

f = frekuensi sumber

$\pi = 3,141593$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan perancangan metode baru dalam mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa dengan meletakkan kapasitor jalan pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih besar (kumparan bantu). Untuk melihat kinerja motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa, maka motor diujicoba di laboratorium dengan menggunakan metode yang diusulkan, kemudian dibandingkan dengan kinerja motor saat beroperasi normal pada sistem tenaga 3-fasa dan saat beroperasi dengan menggunakan metode yang lama (meletakkan kapasitor yang sama pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih kecil). Bentuk rangkaian kapasitor yang dipasang pada kumparan motor induksi 3-fasa dengan menggunakan metode usulan diperlihatkan pada Gambar 2, dimana Cs adalah kapasitor start dan Cr adalah kapasitor jalan.



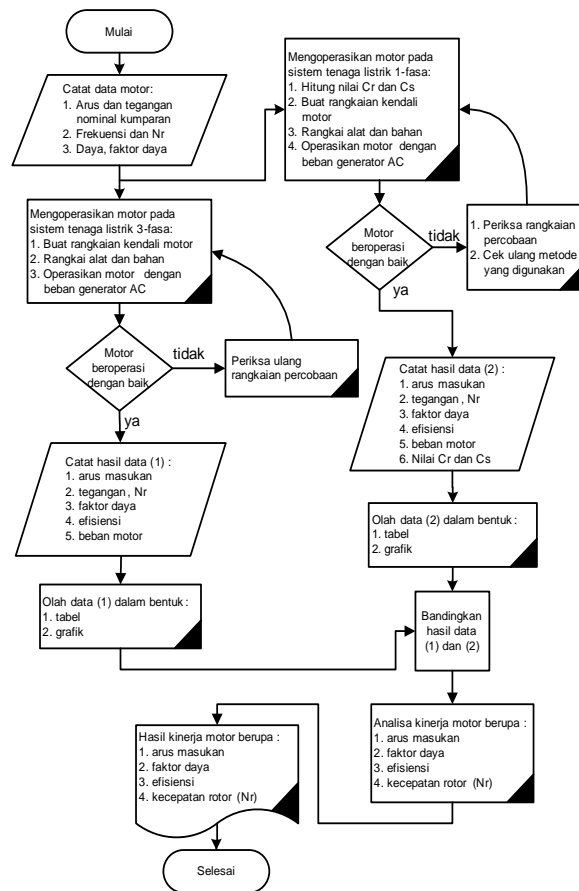
Gambar 2. Bentuk rangkaian kapasitor yang dipasang pada kumparan motor induksi 3-fasa

Data motor induksi yang digunakan pada penelitian ini adalah motor induksi 3-fase 1,5kW, 220/380V; 50Hz; 6,2/3,6A; 1400 rpm dengan faktor daya 0,84 tertinggal. Peralatan pendukung yang digunakan pada penelitian ini adalah:

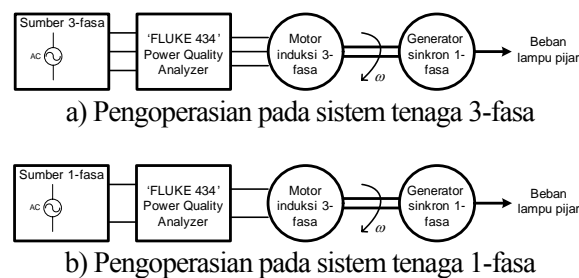
1. Generator sinkron 1-fasa, 3kW (sebagai beban motor yang dikopel langsung dengan motor)
2. Lampu pijar berbagai ukuran, sebagai beban generator.
3. Kapasitor jalan (25.9 uF) dan kapasitor start (49,8 uF)
4. Meja panel, sebagai sumber tenaga

5. Fluke 434 power quality analyzer, sebagai alat ukur
6. Multimeter digital, sebagai alat ukur
7. Rpm meter, sebagai alat ukur kecepatan rotor motor induksi
8. Saklar dan perlengkapannya

Bentuk bagan alir penelitian diperlihatkan pada Gambar 3 dan bentuk penempatan alat ukur dalam mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 3-fasa dan pada sistem tenaga listrik 1-fasa diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Bagan alir penelitian



Gambar 4. Penempatan alat ukur dalam mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada: a) sistem tenaga listrik 3-fasa dan b) sistem tenaga listrik 1-fasa

HASIL DAN PEMBAHASAN

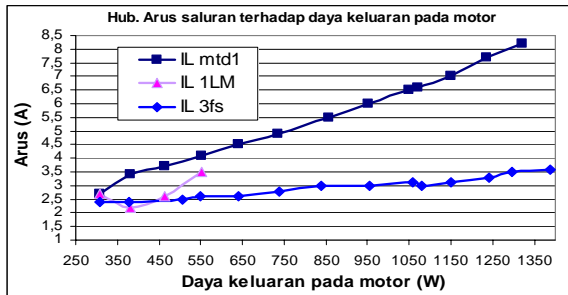
Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian bentuk hubungan kinerja motor saat diberikan perubahan beban pada motor diperlihatkan pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8 dan tabel 1, dengan keterangan gambar sebagai berikut.

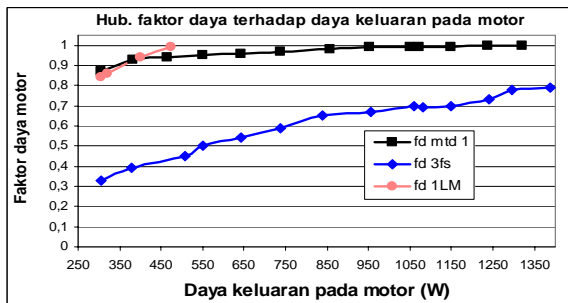
mtd1 = kondisi motor saat beroperasi pada sistem 1-fasa dengan menggunakan metode usulan dengan meletakkan kapasitor pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih besar

1LM = kondisi motor saat beroperasi pada sistem 1-fasa dengan menggunakan metode lama dengan meletakkan kapasitor pada sisi kumparan dengan impedansi yang lebih kecil

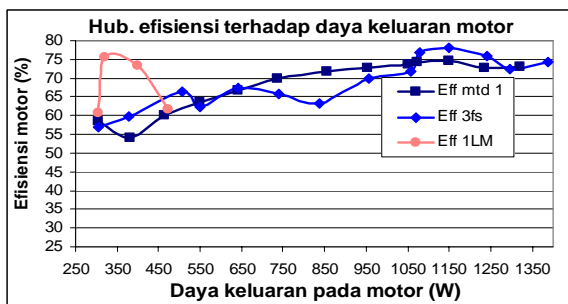
3fs = kondisi motor saat beroperasi pada sistem 3-fasa



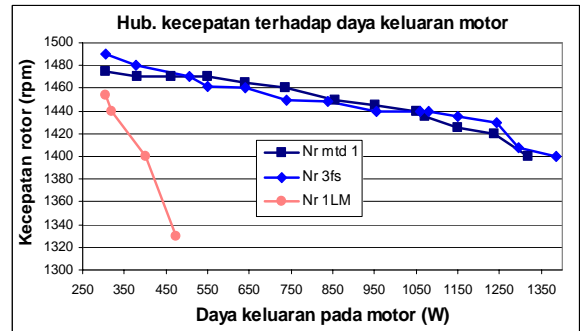
Gambar 5. Hubungan arus saluran terhadap daya keluaran pada motor



Gambar 6. Hubungan faktor daya terhadap daya keluaran pada motor



Gambar 7. Hubungan efisiensi terhadap daya keluaran pada motor



Gambar 8. Hubungan kecepatan terhadap daya keluaran pada motor

Tabel 1. Kinerja motor pada kondisi terbaik

Parameter tinjauan	Beroperasi pada sistem 3-fasa	Beroperasi pada sistem 1-fasa
Daya mekanik beban (W) dg Nr=1400 rpm	1386,58	1319,19 (95,14%)
Daya mekanik beban (W) yang disarankan	1386,58	1148,79 (82,85%) (Nr = 1425 rpm)
Kecepatan (rpm)	1400	1425
Efisiensi (%)	74,45	74,67
Faktor daya	0,79 (tertinggal)	0,99 (mendahului)
Arus kumparan (A)	3,6	3,7
Arus Saluran (A)	3,6	7
Daya masukan (W)	1862,54	1538,46
THDi (harmonik arus)	12,1	11,5

Menentukan Nilai kapasitor

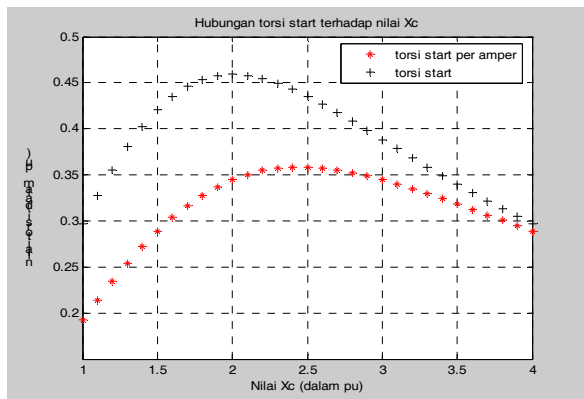
Kapasitor yang digunakan pada penelitian ini diserikan dengan dua kumparan motor (kumparan R dan S, perhatikan Gambar 2. Pada kondisi ini nilai reaktansi kapasitif yang dibutuhkan kapasitor jalan adalah setengah dari nilai persamaan 2. Bila diberikan tegangan sumber 'Vs' pada kapasitor, maka diperoleh nilai kapasitansi kapasitor yang digunakan sebesar:

$$C = \frac{I_{ph}}{2 \cdot \omega \cdot V_s} = \frac{I_{ph}}{\omega \cdot (2V_s)} \tag{14}$$

Bila mengacu kepada data motor yang digunakan, maka diperoleh hasil perhitungan nilai kapasitor jalan dari persamaan 14 sebesar C= 26,045 µF, tetapi karena susah mendapatkan nilai kapasitor yang sesuai di pasaran, maka pada penelitian ini digunakan nilai C = 25,9 µF. Untuk tenaga penggerak awal yang besar, maka diperlukan kapasitor start pada motor. Dengan menggunakan program persamaan 9 dan 10

dapat dicari nilai reaktansi kapasitor *start* yang baik untuk menggerakkan motor. Bila digunakan program Matlab dan dengan mevariasikan nilai reaktansi kapasitor *start* (dalam sistem per-unit, pu), maka diperoleh gambaran variasi nilai torsi yang dihasilkan kapasitor *start* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.

Dari hasil simulasi Gambar 9 terlihat bahwa torsi *start* maksimum diperoleh saat nilai $X_c=2$ pu dan torsi *start* maksimum per-ampere diperoleh saat nilai $X_c=2,5$ pu. Selanjutnya, dengan memasukkan data motor induksi 3-fasa ke persamaan 11, maka untuk tegangan 220V diperoleh nilai $X_d=20,247$ ohm. Dengan memasukan nilai X_d ini ke persamaan 12, maka diperoleh nilai $X_c=40,85$ ohm (untuk torsi *start* maksimum) dan $X_c=51,07$ ohm (untuk torsi *start* maksimum per-ampere). Selanjutnya, dengan memasukkan nilai X_c ini ke persamaan 13, maka diperoleh nilai kapasitansi kapasitor *start* sebesar $77,92\mu F$ untuk torsi *start* maksimum dan $62,33\mu F$ untuk torsi *start* maksimum per-ampere. Agar motor dapat distart optimal maka nilai kapasitansi kapasitor *start* sebaiknya berada dalam batasan antara kedua nilai ini. Dalam penelitian ini dipilih nilai total kapasitansi kapasitor *start* sebesar $75,7\mu F$.



Gambar 9. Prilaku torsi *start* untuk berbagai nilai reaktansi kapasitif kapasitor

Validasi Hasil Perhitungan

Dengan memperhatikan persamaan 2 dan 14 terlihat bahwa tegangan pada kapasitor adalah sebesar 2 kali tegangan sumber ($V_c=2V_s$). Tegangan sumber yang terukur pada penelitian ini adalah 222V, dan dengan memasukkan data ini dan data kapasitor yang digunakan pada persamaan 3 akan diperoleh nilai $VAR_C=1604,04 VAR$, yang sekaligus menjadi daya semu motor saat dioperasikan pada sistem tenaga listrik 1-fasa. Selanjutnya dari persamaan 4 sampai dengan (8) akan diperoleh nilai $VAR_M= 158,55 VAR$, $I_L=7,23A$, faktor daya ($\cos \phi$)=0,995

mendahului dan daya masukan motor (P_L) = 1596,02W. Jika dibandingkan hasil perhitungan ini dengan kenyataan hasil yang terukur oleh alat ukur dimana $I_L=7A$, faktor daya=0,99 mendahului dan $P_L=1538,46W$, maka terjadi faktor kesalahan dalam perhitungan (fk) sebesar: $I_{L(fk)}=3,18\%$ (untuk arus masukan), $Pf_{(fk)}=0,5\%$ (untuk faktor daya) dan $P_{L(fk)}=3,6\%$ (untuk daya masukan). Dari hasil ini terlihat bahwa tingkat kesalahan rumus yang diberikan untuk metode yang diusulkan masih di bawah 5% sehingga masih layak untuk digunakan.

Analisa Hasil

Dari hasil tabel 1 dan grafik 5 sampai dengan grafik 8 yang telah diberikan terlihat bahwa motor induksi 3-fasa saat beroperasi pada sistem tenaga 1-fasa dengan menggunakan metode usulan mampu bekerja dengan kecepatan standard (1400 rpm) pada beban 95,14% dari beban penuh 3-fasanya. Walaupun demikian, tidak disarankan pada kondisi ini karena arus yang melewati kumparan motor telah jauh melebihi arus nominalnya (arus yang melewati kumparan sebesar 5.4A, sedangkan arus nominal motor sebesar 3.6A). Kinerja yang terbaik bagi motor adalah mengoperasikannya pada beban 82,85% dari beban penuh 3-fasanya yang bekerja pada kecepatan 1425 rpm. Pada kondisi ini faktor daya motor naik hingga mendekati 1 (0,99 mendahului) dengan efisiensi sedikit lebih baik dari efisiensi 3-fasanya. Sementara itu, Total Current Harmonic Distortion (THDi) yang terjadi pada motor juga turun saat dioperasikan pada sistem tenaga listrik 1-fasa (dari 12,1 menjadi 11,5). Ini terjadi karena disamping kapasitor memperbaiki faktor daya motor, kapasitor yang dipasang pada kumparan motor juga membentuk filter harmonik yang dapat memperkecil pengaruh harmonik yang timbul.

Jika dibandingkan hasil dari metode yang dibuat (yang diusulkan) dengan metode lama (dengan menggunakan nilai kapasitor jalan yang sama, tetapi dengan meletakkan kapasitor pada sisi kumparan dengan impedansi yang kecil), maka terlihat bahwa metode yang dibuat lebih baik dari metode yang lama. Menaikan kemampuan metode lama dapat dilakukan dengan menaikkan nilai kapasitansi kapasitor jalannya. Tetapi, keputusan ini akan membahayakan pada motor karena dengan memperbesar nilai kapasitansi kapasitor akan memperbesar amplitudo arus yang melewati kumparan motor (lihat persamaan 1 sehingga dapat memperpendek umur motor. Jadi dengan menggunakan metode usulan, maka nilai kapasitansi kapasitor jalan yang digunakan akan lebih kecil, sehingga akan lebih menghemat biaya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Metode yang diusulkan untuk merancang kapasitor jalan dalam mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa dapat bekerja pada beban 91,14% beban penuh 3-fasanya pada kecepatan standarnya (1400rpm). Walaupun demikian, kondisi yang terbaik adalah mengoperasikan motor dengan beban 82,85% dari beban penuh 3-fasanya.
2. Motor dapat beroperasi dengan metode usulan dengan faktor daya yang mendekati satu (0,99), THDi yang lebih kecil, dan dengan efisiensi yang lebih tinggi dari keadaan normal.
3. Rumus yang diberikan untuk menghitung nilai kapasitor yang tepat pada metode usulan mempunyai tingkat keakuratan yang tinggi terhadap hasil percobaan, sehingga sangat layak digunakan.
4. Metode yang diberikan mempunyai kinerja lebih baik dan lebih efisien dari metode lama yang umum digunakan karena hanya menggunakan nilai kapasitansi kapasitor yang lebih kecil dengan kemampuan yang lebih besar.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih saya ucapkan kepada 'Kepala Laboratorium dan teknisi laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Padang' dan 'Kepala laboratorium dan asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik UNAND Padang' yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini. Tidak lupa pula saya ucapkan banyak terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu dan mendukung terlaksananya penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Anthony Zuriman dan Efendi Asnal, "Sistem pengaman motor induksi 3-fasa terhadap gangguan hubung singkat satu fasa dengan cara merubah sumber tegangan", *Prosiding SNVMS 2004*, ISBN: 979-96964-1-0, 2004, hal. 643-649.
- [3] Anthony Zuriman, "Perencanaan kapasitor start untuk mengoperasikan motor induksi 3-fase pada sistem tenaga 1-fase", *Jurnal Momentum*, Vol. 2 No. 2, Agustus 2004, hal. 9-13.
- [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] Scheda, F. A., *Operating 3-phase Motors on 1-phase Power*, EC&M, 1985, pp. 40-41.
- [6] Smith, O.J., 1999, "Large Low-Cost Single-phase Semihex™ Motor", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, 14 (4), pp. 1353-1358, 1999.
- [7] Sen, P.C., *Principles of Electric Machines and Power Electronics*, John Wiley & Son, 1989, pp. 397-410.
- [8] Anthony Zuriman, "Perancangan sistem kendali dual fungsi pengoperasian motor induksi 3-fasa", *Jurnal Momentum*, Vol. 3 No. 2, Agustus 2005, hal. 58-63.
- [9] Anthony Zuriman, Tumiran dan Berahim Hamzah, "Kinerja pengoperasian motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga 1-fasa dengan menggunakan kapasitor", *Jurnal Teknosain*, Terakreditasi No. ISSN: 1411-6162, Jilid 16. No. 1, Januari 2003, UGM, Yogyakarta, 2003, hal. 1-12.
- [10] Anthony Zuriman, "Analisa kapasitor jalan pada metode Semihex™ motor", *Prosiding SNVMS 2004*, ISBN: 979-96964-1-0, 2004, hal. 637-641.
- [11] 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, Desember 1995, pp. 675-680.
- [12] Chapman Stephen J, *Electric machinery fundamentals*, WBC McGraw-Hill, New York, USA, 1999.
- [13] Cowern ED, PE, *Keep up to speed with motor terms*, EC & M, 2000, pp. 52 & 56.
- [14] Lukitsch Walter J, Allen and Milwaukee, *Selecting motor protection for plant and process optimization*, IEEE, No. 0-7803-4962-8198, 1998, pp. 1-6.