

Desain Lilitan Motor Induksi 1-Fasa dengan 4 Kumbaran yang Tidak Identik Sama (Studi Kasus: Daya Keluaran dan Efisiensi Motor)

Zuriman Anthony, Erhaneli Erhaneli

Abstrak— Penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan bentuk disain baru lilitan motor induksi 1-fasa dengan bentuk disain 4 kumbaran yang tidak identik sama. 3 buah lilitan motor ini dibuat lebih besar dan bertindak sebagai kumbaran bantu yang dipasang seri dengan kapasitor, sedangkan 1 lilitan yang lainnya bertindak sebagai kumbaran utama. Motor yang digunakan sebagai pembanding adalah induksi 1-fasa 1Hp, 220 V, 50Hz, 1440 rpm, 8,3A, dengan $C_s = 200\mu\text{F}$ dan $C_r = 30\mu\text{F}$. Motor induksi yang didisain juga menggunakan konstruksi yang sama dengan motor induksi pembanding, tetapi dengan bentuk lilitan yang telah dirubah. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa motor induksi 1-fasa yang didisain baru mempunyai kinerja yang lebih baik dari motor induksi 1-fasa pembanding dengan hanya menggunakan $C_s = 20\mu\text{F}$ dan $C_r = 25\mu\text{F}$ yang mana lebih kecil dari yang digunakan oleh motor induksi 1-fasa pembanding (konvensional).

Kata Kunci— Lilitan 4-fasa, motor induksi 1-fasa, daya keluaran motor, efisiensi motor.

I. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor listrik yang banyak digunakan dalam kehidupan masyarakat. Motor ini mempunyai konstruksi yang sederhana, kuat, dan mudah untuk dipengoperasikan [1]. Contoh penggunaan motor ini adalah pada kipas angin, mesin cuci dan sebagai penggerak pada ban berjalan yang digunakan di pabrik-pabrik semen.

Dalam beberapa tahun ini telah banyak dilakukan penelitian untuk mengembangkan motor induksi seperti pengembangan rangkaian ekivalen baru [2] dan mengoperasikan motor induksi 3-fasa pada sistem tenaga listrik 1-fasa [2]–[15]. Beberapa hasil penelitian ini menunjukkan kinerja motor induksi 3-fasa yang baik saat beroperasi pada sistem 1-fasa. Berdasarkan kondisi ini juga telah dikembangkan motor induksi 1-fasa yang didisain mirip dengan motor induksi 3-fasa [16], [17] dan motor induksi 4-fasa dengan kumbaran yang identik sama [18].

Motor induksi 1-fasa umumnya mempunyai 2

Zuriman Anthony adalah dosen pada Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang; Padang, Indonesia; email antoslah@gmail.com

Erhaneli adalah dosen pada Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang; Padang, Indonesia; email erhanelimarzuki@gmail.com

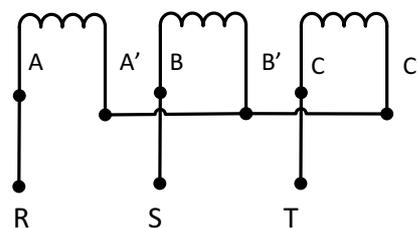
kumbaran, yaitu kumbaran bantu dan kumbaran utama sehingga motor ini biasanya hanya punya 2 buah kumbaran saja. Kumbaran yang pertama disebut dengan kumbaran utama dan yang kedua disebut dengan kumbaran bantu. Kedua kumbaran ini biasanya didisain tidak sama besar agar motor dapat bekerja lebih baik. Untuk kinerja motor yang lebih baik, biasanya kapasitor dipasang pada salah satu kumbaran motor [1], [19].

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini dimaksudkan untuk mendisain motor induksi 1-fasa dengan bentuk lilitan mirip seperti motor induksi 4-fasa tetapi dengan besar lilitan yang tidak identik sama. Analisa yang ditampilkan difokuskan kepada daya keluaran dan efisiensi motor.

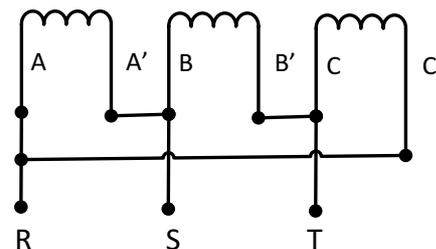
II. LANDASAN TEORI

A. Kumbaran Motor Induksi 3-fasa

Motor induksi 3 fasa merupakan motor merupakan motor induksi yang beroperasi secara normal menggunakan sistem tenaga listrik 3-fasa. Motor ini mempunyai 3 kumbaran yang identik yang terpisah sebesar 120 derajat listrik. Dalam sistem pengoperasiannya, kumbaran motor induksi 3-fasa ini dapat dihubungkan dengan 2 bentuk sistem hubungan yaitu hubungan bintang seperti yang diperlihatkan pada gambar 1 dan sistem hubungan delta seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 1. Bentuk hubungan Y kumbaran motor induksi 3-fasa [17]



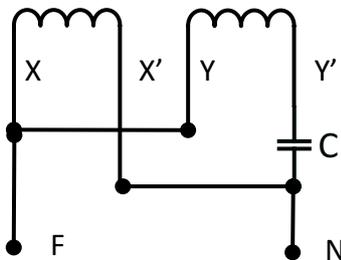
Gambar 2. Bentuk hubungan delta kumbaran motor induksi 3-fasa [17]

Dari gambar 1 dan 2 dapat dijelaskan bahwa ada 3

kumparan pada motor induksi 3-fasa yaitu kumparan A (masuk dari titik A dan keluar dari titik A'), kumparan B (masuk dari titik B dan keluar dari titik B'), dan kumparan C (masuk dari titik C dan keluar dari titik C'). Huruf R, S dan T pada gambar 2, dan 3 merupakan tempat disambungkannya sumber 3-fasa R, S dan T untuk mensuplai motor induksi.

B. Kumparan Motor Induksi 1-fasa

Motor induksi 1-fasa biasanya mempunyai 2 kumparan yaitu kumparan utama dan kumparan bantu yang secara konstruksi mengisi slot yang sama. Kedua kumparan ini diusahakan berjarak mendekati 90 derajat listrik [1], [19]. Khusus pada motor kapasitor, maka motor ini menggunakan kapasitor untuk membuat perbedaan fasa pada kedua kumparannya. Motor ini meletakkan kapasitor secara seri dengan salah satu kumparannya seperti yang diperlihatkan pada gambar 3. Dengan menggunakan cara ini maka torsi yang dihasilkan motor menjadi lebih besar sehingga motor lebih bertenaga.



Gambar 3. Bentuk hubungan kapasitor pada kumparan motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor [17]

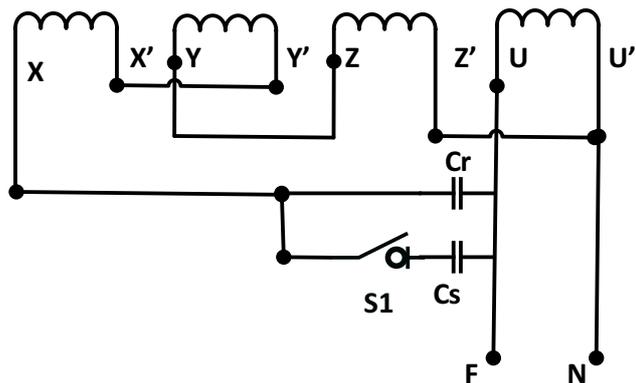
Dengan memperhatikan gambar 3 maka dapat dijelaskan yaitu kumparan X ke X' adalah kumparan utama dan kumparan Y ke Y' adalah kumparan bantu yang terhubung secara seri dengan kapasitor 'C'. F adalah Fasa dari sumber sistem satu fasa dan N adalah Netral dari sumber sistem 1-fasa.

C. Motor Induksi 1-fasa Baru dengan Disain 4 Kumparan

Motor induksi 4-fasa secara konsep mempunyai 4 kumparan yang identik sama. Untuk mendisain motor induksi 1-fasa dengan menggunakan 4 kumparan yang mirip dengan motor induksi 4-fasa, maka kumparan ini didisain tidak identik sama seperti halnya motor induksi 4-fasa. Tetapi, 3 buah kumparan motor ini dibuat lebih besar dari 1 kumparan yang lainnya. Bentuk hubungan kapasitor dengan ke empat kumparan motor ini dipellihatkan pada gambar 4.

Dengan memperhatikan gambar 4 dapat dijelaskan bahwa 3 buah kumparan yang diberi nama X, Y dan Z disebut sebagai kumparan bantu yang terhubung secara seri dengan kapasitor Cr dan Cs. Satu kumparan U yang berdiri sendiri disebut sebagai kumparan utama. Cs dan Cr secara berturut-turut adalah kapasitor start dan kapasitor jalan yang digunakan pada kumparan bantu. F dan N pada gambar 4 adalah simbol dari Fasa (F) dan Netral (N) dari sumber sistem 1-fasa yang dihubungkan ke motor. S1 pada gambar 4 adalah saklar sentrifugal yang digunakan untuk melepas kapasitor Cs setelah

kecepatan rotor mencapai 75%.



Gambar 4. Bentuk hubungan kumparan bantu dan kumparan utama motor induksi 1-fasa dengan 4 kumparan.

Dengan mengacu kepada disain motor induksi pada gambar 4, maka dapat dibuatkan rumus-rumus yang dapat digunakan untuk mengoperasikan motor sebagai berikut.

Kapasitansi kapasitif total (Cst) yang digunakan pada motor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [8].

$$Cst = \frac{(0,1757)I_{ph}}{(f)V_{LN}} \quad (1)$$

Selanjutnya, besarnya kapasitansi kapasitif pada kapasitor jalan (Cr) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Cr = 1,25 \frac{I_{ph}}{(\omega).(A_z.V_{LN})} \quad (2)$$

Dengan,

$$A_z = \frac{N_X + N_Y + N_Z}{N_U} \quad (3)$$

yang mana:

- N_X = total jumlah slot pada kumparan 'X'
- N_Y = total jumlah slot pada kumparan 'Y'
- N_Z = total jumlah slot pada kumparan 'Z'
- N_U = total jumlah slot pada kumparan 'U'
- I_{ph} = arus nominal pada kumparan motor (A)
- V_{LN} = tegangan fasa ke netral dari sumber tenaga yang digunakan (V)
- f = frekuensi sumber (Hz)
- A_z = konstanta dari Zuriman Anthony

Besarnya nilai Kapasitansi kapasitif dari kapasitor start (Cs) yang digunakan pada gambar 4 selanjutnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Cs = Cst - Cr(\text{Farad}) \quad (4)$$

Besarnya tegangan pada kapasitor (V_c) dan daya reaktif yang disumbangkan kapasitor jalan ($VARc$) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_c = A_Z \cdot V_{LN} \quad (5)$$

$$VARc = \omega \cdot Cr \cdot (V_c)^2 = (A_Z)^2 \cdot \omega \cdot Cr \cdot (V_{LN})^2 \quad (6)$$

Dengan menetapkan standar faktor daya motor 0,97 maka besarnya daya semu (S), arus yang masuk ke motor (I_L) dan daya masukan pada motor (Pin) dapat dihitung sebagai berikut.

$$S = VARc \quad (7)$$

$$I_L = \frac{S}{V_{LN}} \quad (8)$$

$$Pin = S \cdot \cos(\varphi) \quad (9)$$

I. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan pembuatan desain baru bentuk hubungan lilitan kumparan motor induksi 1-fasa jenis motor kapasitor. Disain ini difokuskan kepada jenis motor induksi kapasitor-start kapasitor-jalan (capacitor-start capacitor-run induction motor). Motor induksi 1-fasa yang didisain mempunyai 4 kumparan dengan sistem hubungan kumparan dengan kapasitornya diperlihatkan pada gambar 4. Tiga (3) buah kumparan motor dengan nama kumparan X, Y, Z (disebut kumparan bantu) dibuat lebih besar dari kumparan U (disebut kumparan utama). Kumparan bantu dibuat dengan luas penampang $0,75 \text{ mm}^2$, sedangkan kumparan utama dibuat dengan luas penampang $0,65 \text{ mm}^2$. Motor ini menggunakan kapasitor start 'Cs' sebesar $20 \mu\text{F}$ dan kapasitor jalan 'Cr' sebesar $25 \mu\text{F}$. Motor yang didisain baru ini menggunakan jenis dan bentuk rangka yang sama dengan rangka motor induksi konvensional pembandingan.

Motor induksi 1-fasa yang digunakan sebagai motor pembandingan pada penelitian ini adalah: motor induksi 1-fasa (made in China), 1 Hp, 220V, 50Hz, 1440 rpm 8,3A, rotor sangkar, 4 kutup, dengan luas penampang kumparan bantu $0,9 \text{ mm}^2$ dan kumparan utama $0,65 \text{ mm}^2$, dengan kapasitor start $200 \mu\text{F}$ dan kapasitor jalan $30 \mu\text{F}$.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

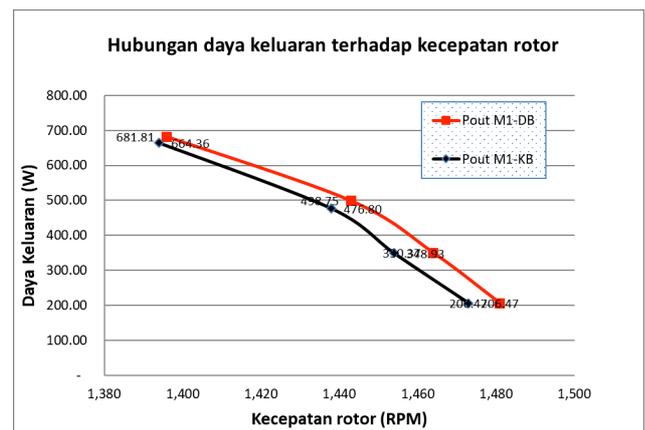
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa motor induksi 1-fasa pembandingan tidak bekerja sesuai dengan ratingnya pada kecepatan 1440 rpm. Oleh karena itu motor ini terus dioperasikan hingga kecepatan mencapai sekitar 1394 dengan tetap memperhatikan arus kumparan motor yang tidak terlalu tinggi melewati rating arus kumparan motor.

Dengan membuat hasil penelitian dalam bentuk grafik maka dapat dibuatkan hasil penelitian seperti yang diperlihatkan pada gambar 5 dan gambar 6. Dari gambar 5 dapat dijelaskan bahwa 'Pout M1-DB' adalah

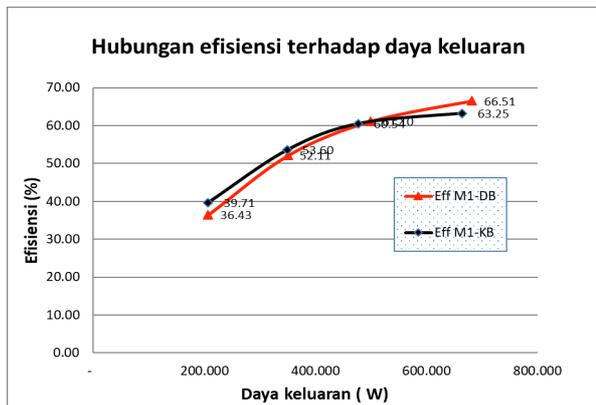
daya keluaran dari motor yang didisain baru, sedangkan 'Pout M1-KB' adalah daya keluaran motor konvensional yang digunakan sebagai pembandingan. Dari gambar 6 juga dapat dijelaskan bahwa 'Eff M1-DB' adalah efisiensi dari motor yang didisain baru, sedangkan 'Eff M1-KB' adalah efisiensi dari motor konvensional yang digunakan sebagai pembandingan.

Dengan memperhatikan grafik pada gambar 5 dan gambar 6 terlihat bahwa motor induksi 1-fasa yang didisain dengan 4 kumparan yang mana terdiri dari 3 kumparan bantu dengan luas penampang $0,75 \text{ mm}^2$ dan 1 kumparan utama $0,65 \text{ mm}^2$ mempunyai karakteristik yang lebih baik dari motor induksi 1-fasa konvensional yang menggunakan kumparan bantu dengan luas penampang $0,65 \text{ mm}^2$ dan kumparan utama $0,9 \text{ mm}^2$. Dari gambar 5 dan gambar 6 terlihat bahwa motor yang didisain baru (dengan kode M1-DB) mampu bekerja dengan daya keluaran $681,81 \text{ W}$ pada kecepatan 1398 rpm dengan efisiensi $66,51\%$, sedangkan motor induksi 1-fasa konvensional (dengan kode M1-KB) hanya dapat beroperasi dengan daya keluaran $664,36 \text{ W}$ pada kecepatan 1394 rpm dengan efisiensi $63,25\%$. Dari data ini terlihat bahwa motor yang didisain baru lebih baik dari motor konvensional yang ada saat ini.

Besarnya nilai kapasitor yang digunakan pada motor yang didisain baru mengacu kepada persamaan (1) sampai dengan persamaan (4). Dari hasil perhitungan ini diperoleh nilai kapasitansi kapasitor start 'Cs' = $20 \mu\text{F}$ dan kapasitansi kapasitor jalan 'Cr' = $25 \mu\text{F}$. Jika dilihat dari nilai kapasitansi kapasitor yang digunakan oleh motor induksi konvensional yang menggunakan kapasitor start sebesar $200 \mu\text{F}$ dan kapasitor jalan sebesar $30 \mu\text{F}$, maka ternyata motor induksi baru yang didisain dengan bentuk 4 lilitan/kumparan ini jauh lebih irit dalam menggunakan kapasitor sehingga lebih murah dari segi biaya.



Gambar 5. Grafik hubungan daya keluaran motor terhadap kecepatan rotor



Gambar 6. Grafik hubungan efisiensi terhadap daya keluaran motor

Dari hasil gambar 5, gambar 6 dan hasil penjabaran di atas terlihat jelas bahwa motor induksi baru yang didisain lebih efisien dan lebih murah dari segi biaya karena kumparan yang digunakan lebih kecil dan kapasitor yang digunakan juga lebih rendah sehingga lebih murah dan motor juga dapat beroperasi dengan kinerja yang lebih baik dari motor konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan banyak terimakasih kami haturkan atas bantuan dari semua pihak yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik. kami juga mengucapkan banyak terimakasih kepada 'Kopertis Wilayah X' dan 'Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Republik Indonesia' yang telah mendanai penelitian ini, dengan kontrak penelitian Nomor: 320/27.O10.5/PN/II/2018.

(1) referensi

- [1] P. C. Sen, *Principles of Electrical Machines and Power Electronics*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [2] Z. Anthony, E. Erhaneli, and B. Busran, "A NEW EQUIVALENT CIRCUIT OF THE THREE-PHASE INDUCTION MOTOR (CASE STUDIES : CURRENT AND POWER FACTOR OF THE MOTOR)," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 23, pp. 6967–6974, 2017.
- [3] P. Brzezirekl, J. Pillay, "Induction Motor Performance Fed from Single to Three Phase Converter," *IEEE*, 1990.
- [4] Z. Anthony, "Perancangan sistem Kendali Dual Fungsi Pengoperasian Motor Induksi 3-fasa," *Momentum*, vol. 7, no. 2, pp. 1–5, 2005.
- [5] Z. Anthony, "Studi pengaruh perubahan frekuensi sumber terhadap faktor daya motor induksi 3-fasa," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 2, no. 2, pp. 49–52, 2013.
- [6] N. A. Ahmed, "Three-phase induction motor operating from single-phase supply with an electronically controlled capacitor," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 73, no. 2, pp. 121–128, 2005.
- [7] Z. Anthony, "Analyzing Characteristics of the Sheda 's Method for Operating the 3-phase induction Motor on Single Phase Supply (Case studies : output power and efficiency of the motor)," *IJETT*, vol. 33, no. 4, pp. 175–179, 2016.
- [8] Z. Anthony, "A Simple Method For Operating The Three-Phase Induction Motor On Single Phase Supply (For Wye Connection Standard)," *IJETT*, vol. 5, no. 1, pp. 13–16, 2013.
- [9] Y. A. Al-turki and H. Al-umari, "Application of the reference frame theory to the dynamic analysis of a three-phase induction motor fed from a single-phase supply," *Elsevier*, vol. 53, pp. 149–156, 2000.
- [10] Z. Anthony, "A Simple Method for Operating the Delta Connection Standard of the 3-phase Induction Motor on Single Phase Supply," *IJETT*, vol. 15, no. 9, pp. 444–447, 2014.
- [11] Z. Anthony, "Equivalent Circuits for the M31D-ZA Motor 's Method (Case Studies : Currents and Power Factor of the motor)," *IJETT*, vol. 25, no. 1, pp. 49–52, 2015.
- [12] Z. Anthony, R. A. Alamsyah, R. Hermanto, and E. Sullivan, "Pengoperasian Motor Induksi 3-Fasa Hubungan Delta Pada Sistem Tenaga 1-Fasa Yang Ditinjau Dari Efisiensi dan Kemampuan Motor," pp. 29–32, 2014.
- [13] Z. Anthony, J. T. Elektro, and S. Barat, "ANALISIS KINERJA MOTOR M31-ZA UNTUK STNDAR HUBUNGAN DELTA DENGAN MENGGUNAKAN PARAMETER MOTOR INDUKSI 3-FASA," pp. 1–6.
- [14] Z. Anthony, E. Erhaneli, and B. Busran, "A New Method for Analyzing the Characteristics of The 3-Phase Induction Motor," in *International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS) 2017*, 2016, pp. 145–151.
- [15] Z. Anthony, "Pengembangan Rangkaian Kendali untuk Mengoperasikan Motor Induksi3-Fasa," vol. 6, no. 1, pp. 81–86, 2017.
- [16] Z. Anthony and E. Erhaneli, "Disain Baru Bentuk Lilitan Kumparan Motor Induksi 1-fasa Berbasis Bentuk Lilitan Motor Induksi 3-fasa," *Pengemb. Insfrastruktur dan Technopreneursh. Untuk Meningkatkan. Daya Saing Bangsa*, pp. 245–249, 2017.
- [17] Z. Anthony and E. Erhaneli, "A New Winding Design for Single Phase Induction Motor," no. October, pp. 13–15, 2017.
- [18] Z. Anthony, "Kajian Pengembangan Lilitan Motor Induksi 1-Fasa Dengan Bentuk Lilitan 4-Fasa (Studi Kasus : Daya Keluaran dan Faktor Daya)," vol. 7, no. 2, pp. 95–100, 2018.
- [19] S. J. Chapman, *Electrical Machinery Fundamentals*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.