

Pengembangan Rangkaian Kendali untuk Mengoperasikan Motor Induksi 3-Fasa

Zuriman Anthony

Institut Teknologi Padang, Padang

E-mail: antoslah@gmail.com

ABSTRACT

The control circuit in the 3-phase induction motor is one of the systems should be designed well so that the 3-phase induction motor can operate according to plan. Today, the control circuits of the 3-phase induction motors have been developed so that the motor can operate properly on 1-phase supply. This study is intended for developing the control system of the 3-phase induction motor that published by Anthony (2005). By modification of the control circuit of the motor, the motor will make to continue to operate properly even if one or two-phase supply has been loos from the 3-phase power system. The Motor used in this research is a 3-phase induction motor of 1.5 HP, 380 V, 50Hz, Y, 1400 rpm. The result shows that the new control circuit is made can operate the 3-phase induction motor with both on 3-phase power system and 1-phase power system. This control system can also keep the motor continues to operate properly and safely even if one or two phases of electrical power systems lost and appear suddenly.

Keywords: *control circuit, operating the 3-phase induction motor on 3-phase system, operating the 3-phase induction motor on 1-phase system*

ABSTRAK

Rangkaian kendali pada motor induksi 3-fasa merupakan salah satu sistem yang harus dirancang dengan baik agar motor induksi 3-fasa dapat beroperasi dengan baik sesuai rencana. Saat ini, rangkaian kendali motor induksi 3-fasa juga telah dikembangkan agar motor dapat beroperasi dengan baik pada sistem tenaga listrik 1-fasa. Penelitian ini dimaksudkan untuk pengembangan sistem kendali motor induksi 3-fasa yang pernah dikemukakan Anthony (2005). Dengan melakukan modifikasi pada rangkaian kendali motor, maka motor akan dibuat dapat terus beroperasi dengan baik walaupun terjadi gangguan dengan hilangnya salah satu atau 2 fasa sumber tenaga listriknya. Sistem kendali yang dirancang merupakan penggabungan dari dua sistem kendali motor yaitu sistem kendali 3-fasa dan sistem kendali 1-fasa. Motor yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor induksi 3-fasa 1,5 Hp, 380 V, 2,7A, 50Hz, hubungan bintang, 1400 rpm. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa rangkaian kendali yang dibuat dapat mengoperasikan motor induksi 3-fasa dengan baik pada sistem tenaga listrik 3-fasa dan sistem tenaga listrik 1-fasa. Sistem kendali ini juga dapat menjaga motor terus beroperasi dengan baik dan aman walaupun salah satu atau dua fasa sistem tenaga listriknya hilang dan muncul kembali secara tiba-tiba.

Kata kunci: rangkaian kendali, pengoperasian motor pada sistem 3-fasa, pengoperasian motor pada sistem 1-fasa

1. PENDAHULUAN

Motor induksi 3-fasa merupakan motor induksi yang paling banyak digunakan saat ini terutama untuk keperluan industri, karena motor ini banyak dibuat dengan daya yang besar. Bentuk rangkaian kendali untuk mengoperasikan motor ini sangat ditentukan oleh kapasitas daya motor. Jika motor yang digunakan berdaya kecil maka rangkaian kendali motor ini biasanya menggunakan sistem pengasutan /start langsung (DOL, *direct on line starter*). Jika motor yang digunakan berdaya sedang, maka rangkaian kendali motor ini menggunakan sistem hubungan bintang-segitiga (Y/ Δ). Jika motor yang digunakan berdaya sangat besar, maka rangkaian kendali motor ini menggunakan sistem hubungan bertingkat (*soft starter*) [1]. Untuk menjaga motor ini tetap beroperasi dengan baik dan aman, maka perlu dibuat rangkaian kendali yang dilengkapi dengan sistem pengaman agar motor ini

tidak cepat rusak. Jika terjadi gangguan pada motor, maka sistem pengaman akan bekerja untuk memutuskan motor dari sistem sehingga motor berhenti beroperasi. Permasalahan yang timbul setelah ini adalah bahwa motor yang diamankan akan berhenti bekerja, sehingga semua kegiatan yang berhubungan dengan motor ini juga akan berhenti.

Penelitian dengan mengembangkan sistem pengoperasian dual fungsi pada motor induksi 3-fasa sebelumnya pernah dilakukan oleh Anthony (2005) dengan menggabungkan sistem pengoperasian motor induksi 3-fasa dengan sistem 1-fasa. Penelitian ini dimaksudkan agar motor induksi 3-fasa dapat terus bekerja dengan baik walaupun salah satu atau dua fasa sistem tenaganya [2]. Tetapi, hasil penelitian ini terlihat belum sempurna (masih ada kekurangan), dimana rangkaian kendali hanya terfokus pada salah satu fasa saja yang dapat mengakibatkan rangkaian kendali gagal bekerja bila fasa ini yang terganggu

(terlepas) dari sistem. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dikembangkan lagi agar dapat mengoperasikan motor induksi 3-fasa dengan baik walaupun salah satu atau dua sembarang fasa terlepas dari sistem tenaga listriknya.

Untuk dapat mengoperasikan motor induksi 3-fasa dengan baik pada sistem 1-fasa, perlu digunakan suatu sistem pengoperasian yang handal yang mengacu kepada hasil penelitian-penelitian yang telah dikembangkan oleh peneliti peneliti sebelumnya dengan menggunakan rangkaian kapasitor pada kumparan motor [3]–[6]. Dengan mengacu kepada salah satu penelitian ini dan dengan mencocokkan jenis motor yang digunakan diharapkan akan membuat motor dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan.

1.1 Rumusan Masalah

Bagaimana bentuk rangkaian kendali yang cocok digunakan agar motor induksi 3-fasa dapat terus beroperasi dengan baik tanpa berhenti bila terjadi gangguan dengan lepasnya (hilangnya) salah satu atau dua fasa sembarang dari sistem 3-fasanya?

1.2 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya membuat rangkaian kendali motor induksi 3-fasa agar dapat beroperasi dengan baik tanpa berhenti walaupun salah satu atau dua fasa sembarang terlepas dari sitem tenaga listriknya, dengan syarat sumber netral masih ada pada sistem tenaga. Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi 3-fasa 1,5 Hp, 380V, 2,7A, Y, 50 Hz, 1400 rpm.

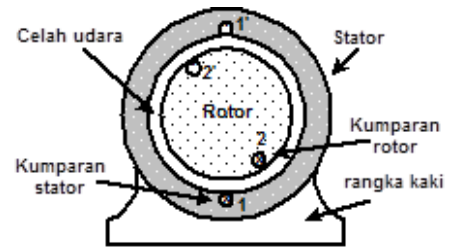
1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat rangkaian kendali motor induksi 3-fasa agar dapat beroperasi dengan baik dan aman tanpa berhenti walaupun salah satu atau dua fasa sembarang terlepas dari sitem tenaga listriknya, dengan syarat netral masih ada pada sistem tenaga. Dengan kondisi ini diharapkan motor akan dapat terus beroperasi dengan baik, kecuali jika motor beroperasi dengan beban yang melampaui ratingnya (gangguan beban lebih) maka motor akan otomatis berhenti beroperasi.

2. LANDASAN TEORI

Motor induksi 3-fasa merupakan motor listrik yang beroperasi secara normal menggunakan sistem 3-fasa [1]. Kumparan motor terdistribusi seara merata pada statornya dengan perbedaan 120⁰ listrik. Bentuk gambaran konstruksi motor induksi 3-fasa secara sederhana diperlihatkan pada gambar 1 [7].

Motor ini bekerja dengan prinsip induksi medan magnet yang berputar pada kumparan motor.



Gambar 1 Konstruksi sederhana motor induksi [7]

Kecepatan putaran medan magnet ini mengacu kepada persamaan (1) berikut.

$$N_s = 120 \cdot f / p \tag{1}$$

yang mana :

- f = frekuensi sumber AC (Hz)
- p = jumlah kutup yang terbentuk pada motor
- N_s = kecepatan putaran medan magnet stator (putaran/menit, rpm)

Dengan induksi medan magnet dari stator ke rotor ini, maka rotor akan berputar pula mengikuti medan magnet yang berputar pada stator. Makin berat beban motor maka kecepatan rotor akan menjadi turun, sehingga terjadi slip (s) sebesar [1]:

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \tag{2}$$

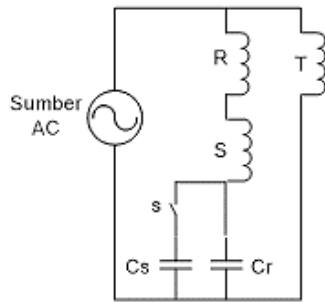
yang mana :

- s = slip
- N_r = kecepatan putaran rotor pada motor

Motor induksi 3-fasa secara normal dioperasikan pada sistem 3-fasa. Motor ini biasa dioperasikan dengan sistem pengasutan /start langsung (DOL, *direct on line starter*), sistem hubungan bintang-segitiga (Y/Δ) atau dengan sistem hubungan bertingkat (*soft starter*) yang tergantung dari kapasitas daya motor [1]. Dengan berkembangnya sistem pengoperasian motor induksi, motor induksi 3-fasa ini sudah dapat dioperasikan pada sistem 1-fasa dengan membuat rangkaian kumparan motor seperti halnya motor induksi 1-fasa, yaitu jenis motor kapasitor. Metode ini dengan menggunakan rangkaian kapasitor yang dipasang pada kumparan motor seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.

Khusus untuk standar motor hubungan bintang, maka besarnya nilai kapasitor yang digunakan pada motor adalah sebagai berikut [3].

$$C_{S_y} = \frac{(0,1757) \cdot (I_L)}{(f) \cdot (V_{LN})} \text{ (Farad)} \tag{3}$$



Gambar 2 Rangkaian kapasitor pada terminal motor induksi 3-fasa untuk mengoperasikan moto pada sistem 1-fasa [3][4]

$$C_{r_y} = k \frac{I_L}{(12,5664)(f).(V_{LN})} (\text{Farad}) \quad (4)$$

yang mana:

C_{s_y} = nilai kapasitansi total kapasitor start ($C_s + C_r$ dari gambar 2) untuk motor standar hubungan bintang (Farad)

C_{r_y} = nilai kapasitansi kapasitor jalan (C_r dari gambar 2) untuk motor standar hubungan bintang (Farad)

I_L = arus nominal motor saat beroperasi normal pada sistem 3-fasa (Amper)

V_{LN} = tegangan 1-fasa (fasa ke netral) yang diberikan ke terminal motor (Volt)

f = frekuensi sumber (Hz)

k = konstanta dengan nilai 0,7679 untuk motor yang dioperasikan pada beban di bawah 70% beban nominal motor dan 1 untuk motor yang dioperasikan pada beban di atas 70% sampai dengan 85% beban nominal motor.

Besarnya tegangan pada kapasitor jalan (V_{cr}) adalah sebagai berikut [3].

$$V_{cr} = 2 . V_{LN} \quad (5)$$

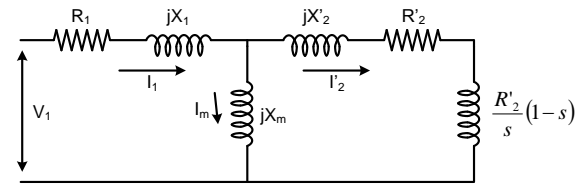
Daya reaktif yang dihasilkan kapasitor jalan (VAR_C) juga dapat dibuatkan sebagai berikut [3]

$$VAR_C = \omega.C.(V_C)^2 = 4.\omega.C.(V)^2 \quad (6)$$

Kemudian daya reaktif yang dihasilkan motor (VAR_M), Arus yang masuk ke motor (I_L), faktor daya (FD_I) dan daya masukan (P_{L_I}) saat beroperasi pada sistem 1-fasa adalah sebagai berikut [3].

$$VAR_M = VAR_{3ph} - VAR_C \quad (7)$$

$$I_{L_I} = \frac{VAR_C}{V_{LN}} \quad (8)$$



Gambar 3 Rangkaian ekivalen motor induksi 3-fasa per fasa [1]

Keterangan:

V_1 = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

R_1 = Resistansi kumparan stator

X_1 = Reaktansi Induktif kumparan stator

R_2' = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

X_2' = Reaktansi Induktif rotor dilihat dari sisi stator

X_m = Reaktansi magnet pada Motor

$\frac{R_2'}{s}(1-s)$ = Resistansi yang mewakili beban motor

I_1 = Arus kumparan stator

I_2' = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator

I_m = Arus Magnet

$$\sin \phi = \frac{VAR_M}{VAR_C} \quad (9)$$

$$FD_I = \cos \phi = \cos(\sin^{-1} \phi) \quad (10)$$

$$P_{L_I} = VAR_C . \cos \phi \quad (11)$$

Jika motor induksi 3-fasa dioperasikan secara normal pada sistem 3-fasa, maka motor dapat dianalisa dengan menggunakan rangkaian pendekatan seperti yang diperlihatkan pada gambar 3 [1]. Dari rangkaian ekivalen motor tersebut kemudian dapat dihitung arus yang masuk ke motor (I_L) dengan cara sebagai berikut.

$$Z'_2 = \frac{R'_2}{s} + jX'_2 \quad (12)$$

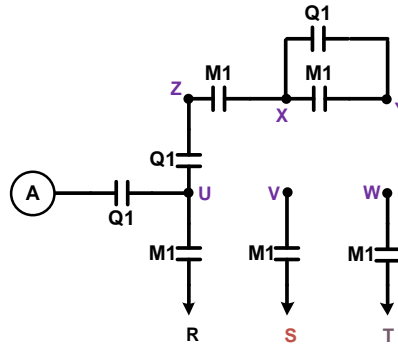
$$Z_{p_2} = \frac{Z'_2 \times jX_m}{Z'_2 + jX_m} \quad (13)$$

$$Z_t = Z_1 + Z_{p_2} \quad (14)$$

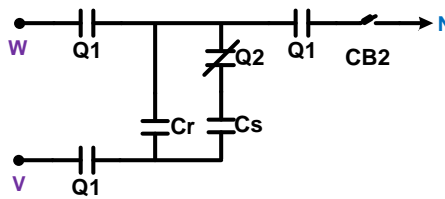
$$i_L = \frac{V_1}{Z_t} = I \angle \phi \quad (15)$$

Dengan menganggap sudut tegangan adalah nol, maka besarnya faktor daya motor induksi 3-fasa (FD_3) adalah sebagai berikut.

$$FD_3 = \cos \phi \quad (16)$$



Gambar 6 Rangkaian hubungan anak kontak kontaktor gambar 5 pada terminal U, V, W, X, Y, Z motor induksi 3-fasa



Gambar 7 Bentuk hubungan rangkaian kapasitor pada terminal motor induksi 3-fasa

Tabel 1 Respon peralatan rangkaian kendali terhadap kinerja motor dari rangkaian kendali gambar 5

Kode Alat	Saat sistem 3-fasa aktif		Saat salah satu fasa dari sumber 3-fasa hilang	
	Start	Jalan	Start	Jalan
M1	X	X	-	-
Q1	-	-	X	X
Q2	-	-	-	X
K1	X	X	-	-
K2	X	X	X	X
K3	X	X	X	X
TD	-	-	X	X
OL*	-	-	-	-
S1	-	X	X	X

Keterangan tabel:

K1 = kontaktor 1,

K3 = kontaktor 3,

Q2 = kontaktor 5.

TD = rele tunda waktu

- = tanda tidak aktif

OL* = rele beban lebih, akan aktif saat terjadi beban lebih pada motor yang akan membuat motor berhenti beroperasi

S1 = Saklar (NO), setelah diaktifkan berfungsi sebagai tanda sistem pendeteksi keamanan aktif berkerja

K2 = kontaktor 2

Q1 = kontaktor 4

M1 = kontaktor 6

X = tanda aktif

3-fasa (terminal U, V, W, X, Y, Z) diperlihatkan pada gambar 6. Sedangkan gambar 7 memperlihatkan bentuk hubungan rangkaian kapasitor pada terminal motor induksi 3-fasa. Nilai kapasitor yang digunakan mengacu kepada persamaan (3) dan (4).

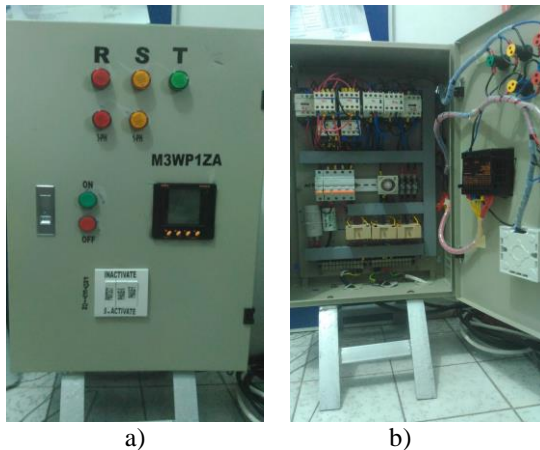
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan mengoperasikan motor induksi 3-fasa sesuai dengan rangkaian kendali seperti gambar 5 dan dengan nilai kapasitor mengacu kepada rumus yang telah dijabarkan, maka diperoleh respon peralatan

rangkaiannya terhadap kinerja motor dengan sistem pengoperasian DOL seperti tabel 1.

Gambar 8 memperlihatkan panel rangkaian kendali yang dibuat yang dilengkapi dengan sistem pengaman agar motor induksi 3-fasa dapat beroperasi pada sistem 3-fasa dan 1-fasa.

Dari tabel 1 dan gambar 5 dapat dijelaskan bahwa saat motor induksi 3-fasa akan dioperasikan secara normal pada sistem 3-fasa, maka kontaktor M1 akan diaktifkan dengan menekan tombol start sehingga motor beroperasi dengan sistem DOL (*Direct Online Starter*). Saat saklar S1 diaktifkan,



Gambar 8 Panel rangkaian kendali yang dibuat yang dilengkapi dengan sistem pengaman agar motor induksi 3-fasa dapat beroperasi pada sistem 3-fasa dan 1-fasa, a) tampak luar; b) tampak dalam

maka sistem pengaman mulai aktif untuk siap mengoperasikan motor pada sistem 1-fasa jika salah satu atau dua fasa dari sistem 3-fasa hilang dari sistem tenaga. Bila tiba-tiba sistem 3-fasa kembali aktif (R, S, T kembali aktif), maka motor kembali akan beroperasi secara normal pada sistem 3-fasa. Setelah kontaktor M1 aktif (motor beroperasi pada sistem 3-fasa), maka kontaktor Q1 dan Q2 tidak akan aktif, kecuali bila salah satu fasa atau 2 fasa sistem tenaga hilang dari sumbernya, maka otomatis Q1 dan Q2 aktif dan M1 akan tidak aktif.

Bila motor akan dioperasikan (dihidupkan), tetapi ternyata sistem yang aktif hanya 1-fasa atau 2-fasa, maka saat tombol start ditekan, secara otomatis hanya Q1 dan Q2 yang aktif dan motor akan beroperasi pada sistem 1-fasa. Alat yang berfungsi untuk mendeteksi sistem fasa yang aktif ini dari gambar 5 adalah kontaktor K1 (fasa S), kontaktor K2 (fasa T) dan kontaktor K3 (fasa R). Motor akan tetap bekerja dengan aman karena rele arus lebih diseting sesuai dengan arus nominal motor.

Dari hasil tabel 1 yang memperlihatkan respon peralatan rangkaian kendali terhadap kinerja motor terlihat bahwa motor dapat dioperasikan dengan baik pada sistem 3-fasa dengan sistem DOL, dan motor akan tetap terus beroperasi bila salah satu fasa atau dua fasa sistem tenaga hilang dari sumbernya. Motor hanya akan berhenti beroperasi bila motor mengalami kelebihan beban dari batas nominal yang diizinkan (sesuai setting rele arus lebih yang digunakan).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang rangkaian kendali dibuat dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Rangkaian kendali yang dibuat dapat digunakan untuk mengoperasikan motor induksi 3-fasa dengan baik dengan sistem DOL pada sistem 3-fasa, dan motor akan tetap terus beroperasi walaupun salah satu fasa atau dua fasa sistem tenaga hilang dari sumbernya.
- 2) Bila saat pertama motor dihidupkan ternyata sistem yang aktif hanya 1-fasa atau 2-fasa, maka secara otomatis motor akan dioperasikan pada sistem 1-fasa, dan akan bekerja kembali pada sistem 3-fasa bila ke tiga sistem 3-fasanya aktif kembali.
- 3) Motor akan tetap bekerja dengan aman karena rele arus lebih diseting sesuai dengan arus nominal motor.
- 4) Motor hanya akan berhenti beroperasi bila motor mengalami kelebihan beban dari batas nominal yang diizinkan (sesuai setting rele arus lebih yang digunakan).

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. C. Sen, *Principles of Electrical Machines and Power Electronics*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [2] Z. Anthony, "Perancangan Sistem Kendali Dual Fungsi Pengoperasian Motor Induksi 3-Fasa," *Momentum*, vol. 7, no. 2, pp. 1–5, 2005.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Saya juga mengucapkan banyak terimakasih Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi Republik Indonesian yang telah mendanai penelitian ini, karena hasil penelitian ini merupakan bahagian dari penelitian yang didanai dengan kontrak penelitian No. 1275 / 27.O10.4.2 /PN / 2016.