

STUDI PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA PHASA MENGGUNAKAN *VARIABLE SPEED DRIVE* (VSD) BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* (PLC)

^{1,2,3} Riski Anda Rangkuti, Atmam, Elvira Zondra

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

E-mail: riskiandarangkuti@gmail.com, atmam@unilak.ac.id, elviraz@unilak.ac.id

Abstrak

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan saat ini, karena memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah serta mudah dalam pemeliharaannya. Motor induksi juga banyak digunakan untuk berbagai keperluan dalam proses produksi pada suatu industri. Dengan berkembangnya teknologi sistem kontrol salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan kendali *Variable Speed Drive* (VSD) yang dihubungkan langsung dengan motor induksi 3 fasa untuk mengatur kecepatan, dan ditambah dengan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) yang berfungsi sebagai pengendali *Variable Speed Drive* (VSD) untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa. Kecepatan motor induksi tiga fasa saat tidak terkopel beban sebesar 2802 rpm dengan frekuensi 50 Hz, kecepatan 1681 rpm pada frekuensi 30 Hz dan kecepatan 840,6 rpm pada frekuensi 15 Hz. Dengan kondisi terkopel beban kecepatan motor induksi tiga fasa sebesar 1434 rpm dengan frekuensi 25,6 Hz, kecepatan 1462 rpm pada frekuensi 26,1 Hz dan kecepatan 1496 rpm pada frekuensi 26,6 Hz. Frekuensi berbanding lurus terhadap kecepatan motor induksi 3 fasa, semakin besar frekuensi yang masuk pada motor induksi 3 fasa maka akan semakin cepat putaran motor induksi 3 fasa tersebut.

Kata kunci : Motor Induksi 3 Fasa, *Variable Speed Drive* (VSD), *Programmable Logic Controller* (PLC).

Abstract

Induction motor is an alternating electric motor (AC) which is most widely used today because it has a simple construction, is relatively inexpensive and is easy to maintain. Induction motors are also widely used for various purposes in the production process in an industry. With the development of control system technology, one way to do this is by using Variable Speed Drive (VSD) that are connected directly to a 3-phase induction motor to regulate speed and, in addition, by using a Programmable Logic Control (PLC) that functions as a Variable Speed Drive (VSD) to set the speed of the 3-phase induction motor. The results of the test of the speed of the uncoupled 3-phase induction motor are: a speed of 280 rpm with a frequency of 50 Hz, speed of 1681 rpm with a frequency of 30 Hz, and speed of 840,6 rpm at a frequency of 15 Hz. With coupled conditions, the speed of the 3-phase induction motor are: a speed of 1434 rpm with a frequency of 25,6 Hz, a speed of 1462 rpm at a frequency of 26,1 Hz and a speed of 1496 rpm at a frequency of 26,6 Hz. The frequency is directly proportional to the speed of the 3-phase induction motor; and the greater the frequency entered in the 3-phase induction motor, the faster the rotation of the 3-phase induction motor.

Keywords: 3-phase induction motor, *Variable Speed Drive* (VSD), *Programmable Logic Control* (PLC).

1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan salah satu motor listrik paling umum yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Motor induksi juga banyak digunakan untuk berbagai keperluan dalam proses produksi pada suatu industri. Kehandalan dan kemudahan penggunaan motor induksi merupakan alasan bagi dunia industri untuk menggunakannya.

Bila dilihat dari sisi sumber tegangan motor induksi, salah satunya dengan motor induksi tiga fasa.

Motor induksi tiga fasa mempunyai kelemahan sulitnya mengendalikan kecepatan, karena motor induksi tiga fasa berputar pada kecepatan konstan, sedangkan pada sebuah industri biasanya menginginkan motor listrik yang bisa diatur kecepatannya sesuai dengan keinginan. Bila beban berubah kecepatan motor induksi tiga fasa

juga akan berubah, untuk mempertahankan agar kecepatan pada motor induksi tiga fasa tetap konstan maka tegangan dan frekuensi harus diatur.

Untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa yaitu salah satunya dengan cara mengubah frekuensi. Untuk mengatur frekuensi yang masuk pada motor induksi tiga fasa tersebut dapat menggunakan kendali *Variable Speed Drive* (VSD) yang dihubungkan langsung dengan motor induksi tiga fasa.

Variable Speed Drive atau *Variable Frekuensi Drive* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik (AC) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasok ke motor. *Variable Frekuensi Drive* semakin populer karena kemampuannya untuk mengontrol kecepatan motor induksi [1].

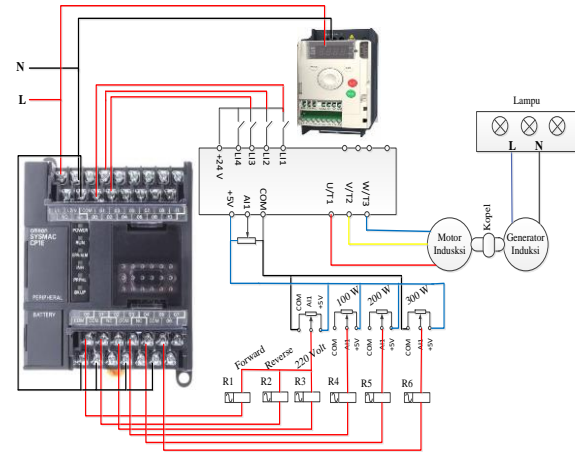
Programmable Logic Controller (PLC). *Programmable Logic Controller* (PLC) ini yang nantinya digunakan sebagai pengendali kecepatan pada motor induksi tiga fasa dengan menghubungkannya dengan *Variable Speed Drive* (VSD). *Programmable Logic Controller* (PLC) merupakan alat yang berfungsi untuk mengontrol rangkaian secara otomatis.

Programmable Logic Controller (PLC) adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan rangkaian sederetan relay yang dijumpai pada sistem kontrol proses konvensional. *Programmable Logic Controller* (PLC) bekerja dengan mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan luarannya (*logic 0* atau 1, hidup atau mati) [2].

2. METODE PENELITIAN

Untuk perancangan sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dibagi atas dua bagian yaitu perancangan perangkat keras sistem (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*).

Perancangan perangkat keras (*hardware*) terdiri atas beberapa perancangan setiap blok yang menyusun sistem kontrol secara keseluruhan. Perancangan perangkat lunak (*software*) yaitu pembuatan diagram *ladder* sebagai program untuk mengontrol *Variable Speed Drive* (VSD) sebagai alat untuk merubah frekuensi yang selanjutnya untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa.



Gambar 1. Perancangan PLC Dengan VSD

Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Spesifikasi motor induksi tiga fasa yang digunakan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi motor induksi

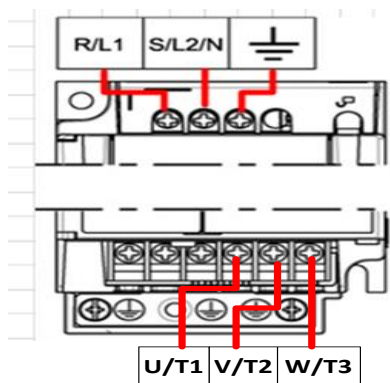
Parameter	Keterangan
Tegangan	220/380 Volt
Hubungan	Δ/Y
Arus	3,11/1,80 A
Daya	1 HP 0,75 kW
rpm	2800 rpm
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Kutub	2

Perancangan VSD ATV12H075M2

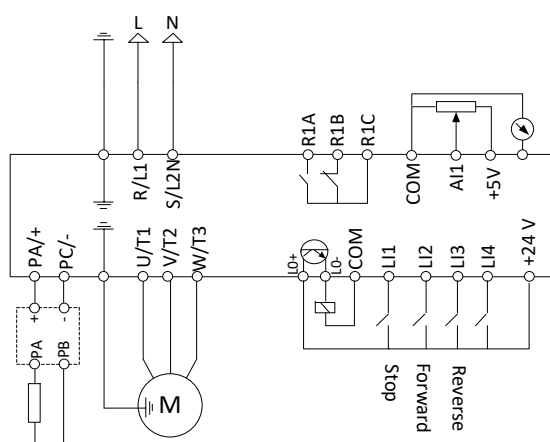
Pengaturan ATV12H075M2 disesuaikan dengan spesifikasi motor yang digunakan / *name plate* pada motor. Perancangan VSD menggunakan sistem digital input yaitu *Setting drive parameter*. Pada pengaturan ini dimasukkan parameter-parameter sesuai dengan rating motor dan kebutuhan kecepatan motor.

Pengkabelan ATV12H075M2

Pengkabelan atau *Wiring* pada *Variable Speed Drive* (VSD) sangatlah penting, karena pada tiap terminal altivar yang dihubungkan ke *driver* maupun beban berupa motor induksi tiga fasa mempunyai fungsi dan peranannya masing-masing. Pengkabelan seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.



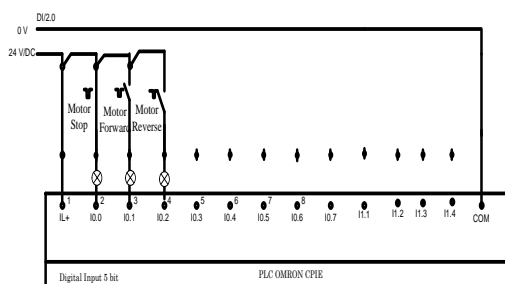
Gambar 2. Wiring Power Terminal VSD



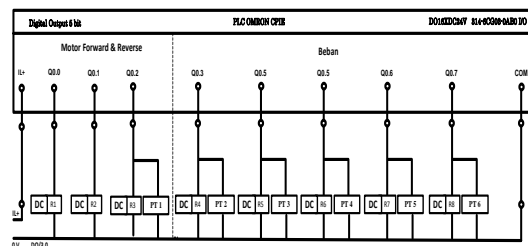
Gambar 3. Wiring diagram VSD

Rangkaian Input dan Output PLC

Dalam sistem pengendalian untuk kecepatan motor induksi tiga fase menggunakan VSD berbasis PLC, PLC bekerja sebagai kontrol perpindahan frekuensi yang ada di VSD, PLC merupakan perpaduan antara perangkat keras dan perangkat lunak (*Hardware dan software*). PLC akan bekerja sesuai dengan *ladder diagram* yang telah kita buat. Untuk pemrograman dan pengiriman data menggunakan aplikasi *CX-Programmer*. Berikut rangkaian pengawatan *input dan output digital PLC* pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Wiring Input Digital



Gambar 5. Wiring Output Digital

Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Dalam sistem pengaturan kecepatan motor induksi tiga fase menggunakan PLC sebagai alat kontrol kecepatan motor induksi melalui VSD. Perancangan perangkat lunak berupa pemrograman yang membuat sistem dapat bekerja sesuai dengan cara kerja alat.

Pengalaman Input dan Output PLC Omron CPlE Saat Terkoppel Beban

Dalam pengalaman *Input dan Output* pada PLC seperti pada Tabel 2 yaitu 0.00-0.05 sebagai digital *input* dan Tabel 3 yaitu 100.00-100.05 sebagai digital *output*. Pengalaman *input dan output* dari rangkaian kontrol motor induksi tiga fase pada saat terkoppel beban pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Daftar *input* PLC Terkoppel Beban

Pengalaman	Keterangan
0.00	Motor <i>Stop</i>
0.01	Motor <i>Forward</i>
0.02	Motor <i>Reverse</i>
0.03	Lampu (100 W)
0.04	Lampu (200 W)
0.05	Lampu (300 W)

Tabel 3. Daftar *output* PLC Terkoppel Beban

Pengalaman	Keterangan
100.00	R 1
100.01	R 2
100.02	R 3
100.03	R 4
100.04	R 5
100.05	R 6
100.06	R7

100.07

R8

Pengalamatan *Input* dan *Output* PLC Omron *CP1E* Saat Terkoppel Beban

Selanjutnya untuk pengalamatan *Input* dan *Output* tidak terkoppel beban pada *PLC* seperti pada Tabel 4 yaitu 0.00-0.03 sebagai digital *input* dan selanjutnya Tabel 5 yaitu 100.00-100.07 sebagai digital *output*.

Tabel 4. Daftar *input* *PLC* tidak Terkoppel Beban

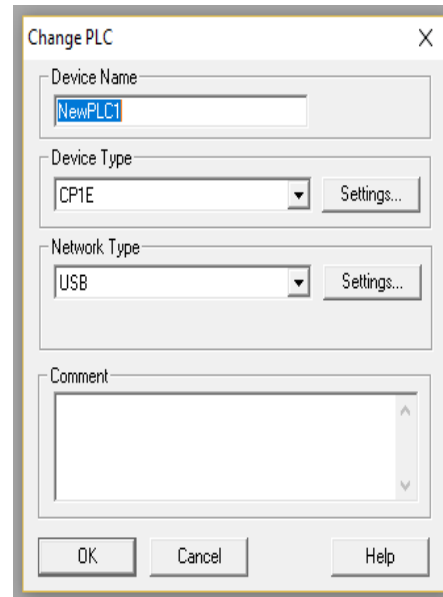
Pengalamatan	Keterangan
0.00	<i>Selector OFF</i>
0.01	<i>Selector ON 1</i>
0.02	<i>Selector ON 2</i>

Tabel 5. Daftar *output* *PLC* tidak Terkoppel Beban

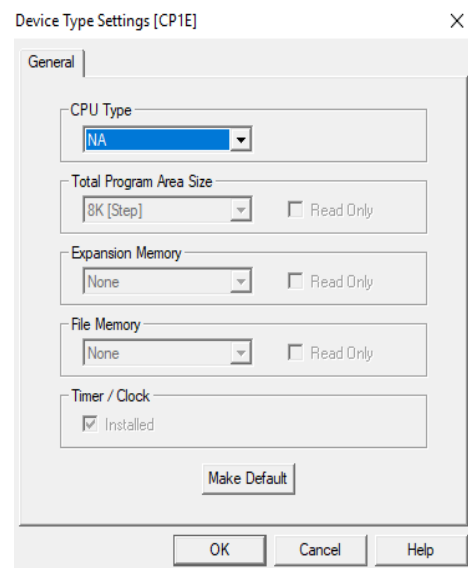
Pengalamatan	Keterangan
100.00	R 1
100.01	R 2
100.02	R 3
100.03	R 4
100.04	R 5
100.05	R 6
100.06	R 7
100.07	R 8

Membuat Program *PLC*

Untuk memprogram *PLC* bahasa program yang digunakan adalah *ladder* diagram dengan menggunakan software *CX-Programmer*. Sebelum membuka lembar kerja *CX-Programmer* terlebih dahulu melakukan konfigurasi tipe *PLC* yang akan digunakan seperti pada Gambar 6.

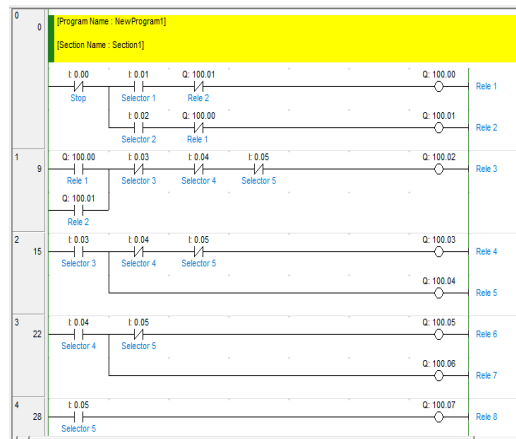
Gambar 6. Konfigurasi *PLC* Omron *CP1E*

Kemudian selanjutnya *setting* *CPU*, karena ini merupakan bagian utama dari *PLC* sebagai *CPU* terhadap sinyal dari data *input* seperti Gambar 7.

Gambar 7. *Setting Tipe CPU* pada *CX-Programmer*

Ladder Diagram (LD) Pengontrolan *VSD* Terkoppel Beban

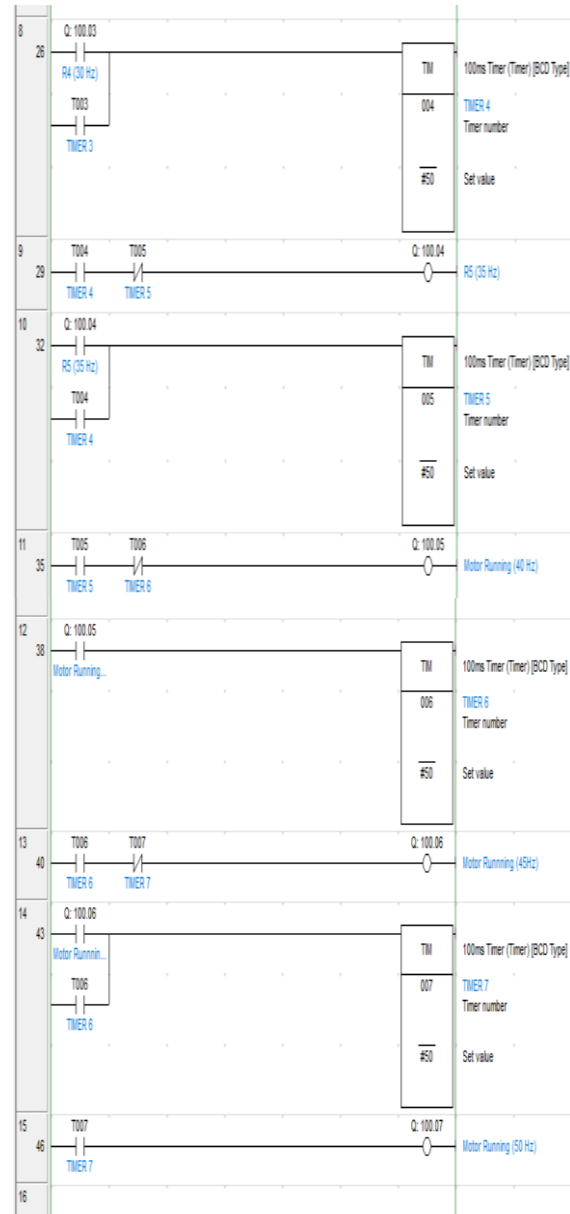
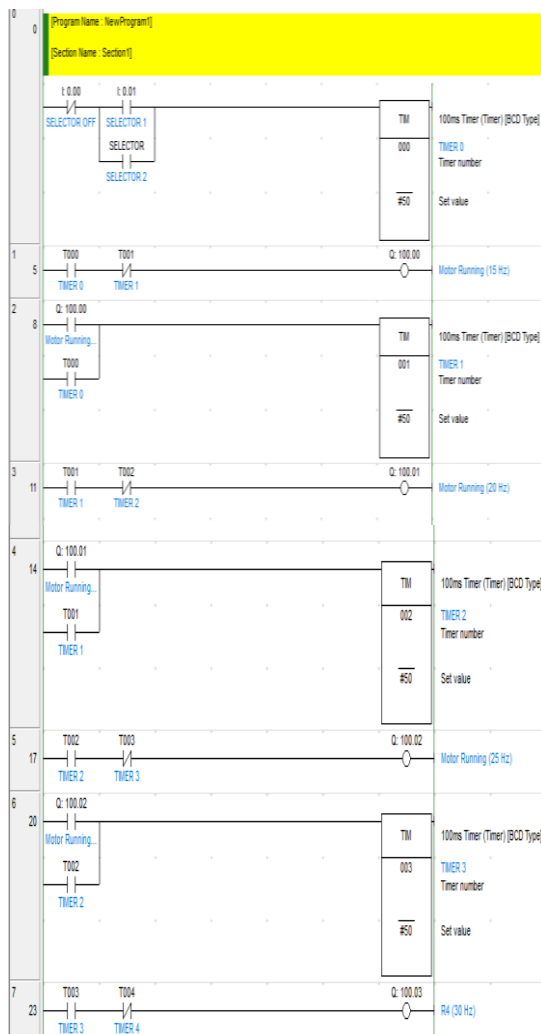
Untuk rancangan *Ladder Diagram (LD)* untuk pengontrolan *VSD* pada saat terkoppel beban seperti pada Gambar 8 :



Gambar 8. Ladder Diagram (LD) Pengontrolan VSD Terkoppel Beban

Ladder Diagram (LD) Pengontrolan VSD Tidak Terkoppel Beban

Rancangan Ladder Diagram (LD) untuk pengontrolan VSD pada saat tidak terkoppel beban seperti pada Gambar 9 :



Gambar 9. Ladder Diagram (LD) Pengontrolan VSD Tidak Terkoppel Beban

Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini diperoleh bukan dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*Rotating Magnetic Field*) yang dihasilkan oleh arus stator [3].

Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor sehingga

terinduksi arus dan rotor akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Salah satu kelemahan motor induksi adalah sulit diatur kecepatannya [3].

Bila dilihat dari jumlah fasa tegangan yang digunakan maka motor induksi dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu [3].

a. Motor Induksi Satu Fasa

Disebut motor satu fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, pada motor tersebut disuplai dengan tegangan satu fasa. Didalam praktiknya, yang sering digunakan adalah motor satu fasa dengan lilitan dua fasa. Dikatakan demikian, karena di dalam motor satu fasa lilitan statornya terdiri dari dua jenis lilitan, lilitan pokok dan lilitan bantu. Macam-macam motor induksi satu fasa yaitu motor kapasitor, *shaded mole* motor (Motor Bayangan Kutub), dan motor Split Fasa.

b. Motor Induksi tiga fasa

Disebut motor induksi tiga fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, pada motor tersebut disuplai dengan sumber tegangan tiga fasa. Jenis-jenis motor ditinjau dari jenis rotor yang digunakan, yaitu motor dengan rotor lilit dan motor dengan rotor sangkar tupai.

Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Ketika catu daya AC tiga fasa terhubung ke stator terminal induksi motor, arus bolak-balik tiga fasa dalam gulungan stator. Arus ini mengatur dan mengubah medan magnet (pola fluks) yang berputar di sekitar bagian dalam stator. Kecepatan rotasi sinkron dengan frekuensi daya listrik dan disebut kecepatan sinkron. Kecepatan putar sinkron medan magnet dirumuskan dengan [4].

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

Atau untuk mencari kecepatan sudut [4] ;

$$\omega_s = \frac{2 \times \pi \times n_s}{60} \quad (2)$$

Keterangan :

n_s = Kecepatan medan putar stator (*rpm*)

ω_s = Kecepatan sudut stator (*rad/s*)

p = Jumlah kutub

f = Frekuensi tegangan masukan (*Hz*)

Fluksi yang berputar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi gaya gerak listrik sebesar E_2 yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut [5].

$$E_2 = 4,44 \times f_2 \times N_2 \times \phi_m \quad (3)$$

Keterangan :

E_2 = Tegangan induksi pada saat rotor dalam keadaan diam (*Volt*)

f_2 = Frekuensi rotor (*Hz*)

N_2 = Jumlah lilitan kumparan rotor

ϕ_m = Fluksi maksimum (*Wb*)

Slip

Perbedaan kecepatan antara medan putar stator dengan rotor tergantung pada besarnya beban dari motor tersebut. Perbedaan putaran ini disebut dengan slip (*s*) yang dinyatakan dalam (%). Harga slip selalu berubah-ubah tergantung dari besarnya beban yang dipikul yaitu dari 100% saat start sampai dengan 0% saat diam ($n_s = n_r$). Perbedaan putaran antara putaran medan stator dan putaran rotor dapat dihitung dengan persamaan berikut [3].

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan menggunakan rasio slip, kita juga dapat menentukan kecepatan rotor [5].

$$n_r = (1 - s) \times n_s \quad (5)$$

Atau ;

$$\omega_r = (1 - s) \times \omega_s \quad (6)$$

Keterangan :

n_s = Kecepatan medan putar stator (*rpm*)

n_r = Kecepatan putar rotor (*rpm*)

ω_r = Kecepatan sudut rotor (*rad/s*)

s = Slip (%)

Hubungan Tegangan Dengan Frekuensi

Untuk pemakaian VSD terhadap pengaturan motor induksi tiga fasa harus memperhatikan hal berikut [6].

1. Jika frekuensi kita naikan dari 50 Hz s/d 100 Hz dengan tegangan suplai konstan maka *load current* akan turun sebesar 50% dan *torque* akan *drop* sebesar 100%.
2. Jika frekuensi kita turun dari 50 Hz s/d 25 Hz dengan tegangan suplai konstan maka *load current* akan naik menjadi dua kali dan motor akan *over heat*.

Jadi kesimpulannya bahwa perubahan frekuensi adalah berbanding terbalik terhadap perubahan arus. Rasio perubahan frekuensi terhadap tegangan tersebut dihitung dengan rumus [6].

$$\frac{V_1}{f_1} = \frac{V_n}{f_n} \quad (7)$$

Atau ;

$$V_n = \frac{V_1}{f_1} \times f_n \quad (8)$$

Keterangan :

V_1 = Tegangan Aktual (Volt)

V_n = Tegangan Baru (Volt)

f_n = Frekuensi Baru (Hz)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan kecepatan motor induksi pada saat tidak terkopel beban dengan frekuensi 50 Hz.

Kecepatan motor induksi menggunakan persamaan (1) dan kecepatan rotor menggunakan persamaan (5).

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{120 \times f}{p} \\ &= \frac{120 \times 50}{20} \\ &= 3000 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_r &= (1 - s) \times n_s \\ &= (1 - 0,066) \times 3000 \\ &= 2802 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Untuk slip motor induksi menggunakan persamaan (4).

$$\begin{aligned} s &= \frac{n_s - n_r}{n_s} \\ &= \frac{3000 - 2802}{3000} \times 100\% \\ &= 0,066 \times 100\% \\ &= 6,6\% \end{aligned}$$

Tegangan motor induksi tiga dengan menggunakan persamaan (8).

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{V_1}{f_1} \times f_2 \\ &= \frac{220}{50} \times 50 \\ &= 220 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Kecepatan sudut stator dan rotor pada motor induksi tiga fasa menggunakan persamaan 2.2 dan 2.6.

$$\begin{aligned} \omega_s &= \frac{2 \times \pi \times n_s}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 3000}{60} \\ &= 314 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

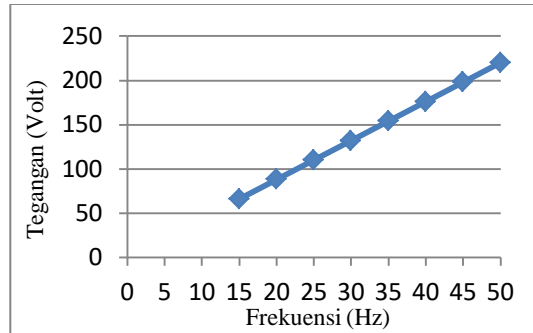
$$\begin{aligned} \omega_r &= (1 - s) \times \omega_s \\ &= (1 - 0,066) \times 314 \\ &= 293,276 \text{ rad / s} \end{aligned}$$

Adapun hasil perhitungan motor induksi tiga fasa saat terkopel beban diperlihatkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Motor Induksi Tiga Fasa

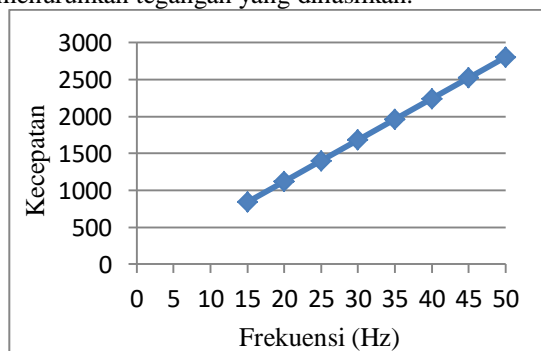
Frekuensi (Hz)	Tegangan (Volt)	Torka (N.m)	Daya (Watt)	Kecepatan (rpm)
15	66	1,594	140,287	840,6
20	88	1,583	185,709	1120
25	110	1,591	233,355	1401
30	132	1,595	280,758	1681
35	154	1,591	326,681	1961
40	176	1,591	372,358	2241
45	198	1,587	418,930	2521
50	220	1,595	467,917	2802

Dari Tabel 6 dapat dibuatkan beberapa grafik yang ditunjukkan pada Gambar 10 frekuensi terhadap tegangan, Gambar 11 frekuensi terhadap kecepatan dan Gambar 12 Frekuensi Terhadap Torka Motor Induksi.



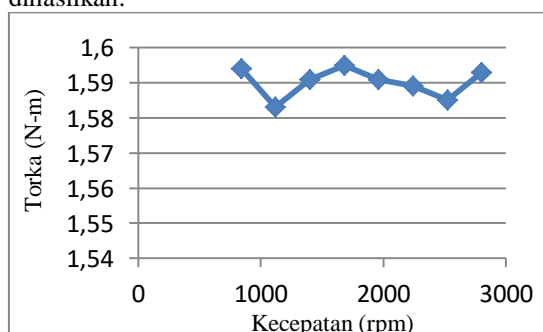
Gambar 10. Frekuensi Terhadap Tegangan Motor Induksi

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara frekuensi terhadap tegangan motor induksi tiga fasa. Perubahan frekuensi akan meningkatkan atau menurunkan tegangan yang dihasilkan.



Gambar 11. Frekuensi Terhadap Kecepatan Motor Induksi

Pada Gambar 11 terdapat grafik hubungan antara frekuensi terhadap kecepatan pada motor induksi tiga fasa. Frekuensi yang diatur mulai dari 15 Hz sampai 50 Hz, frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan motor induksi tiga fasa, semakin besar frekuensi yang diatur maka akan semakin cepat putaran pada motor induksi tiga fasa yang dihasilkan.



Gambar 12. Kecepatan Terhadap Torka Motor Induksi

Gambar 12 menunjukkan grafik hubungan kecepatan terhadap torka motor induksi tiga fasa pada saat motor induksi tiga fasa tidak terkopel beban, torka yang dihasilkan 1,58 N.m sampai 1,60 N.m.

4. KESIMPULAN

Dari analisa yang didapat setelah melakukan penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan motor induksi tiga fasa saat tidak terkopel beban sebesar 2802 rpm dengan frekuensi 50 Hz, kecepatan 1681 rpm pada frekuensi 30 Hz dan kecepatan 840,6 rpm pada frekuensi 15 Hz.
2. Kecepatan motor induksi tiga fasa saat terkopel beban sebesar 1434 rpm dengan frekuensi 25,6 Hz, kecepatan 1462 rpm pada frekuensi 26,1 Hz dan kecepatan 1496 rpm pada frekuensi 26,6 Hz.
3. Torka motor induksi tiga fasa saat tidak terkopel beban sebesar 1,591 N.m dengan kecepatan 1401 rpm, saat terkopel beban sebesar 2,089 N.m dengan kecepatan 1434 rpm.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atmam, Zulfahri , A. Tanjung (2018), *Analisa Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD)*, ISSN : 2548-6888, pp : 52–59.
- [2] Putra, E. A., (2017), *Konsep Pemograman dan Aplikasi*, Gava Media, Yogyakarta.
- [3] Zuhail, (1988), *Zuhail Teknik Tenaga Listrik*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [4] Barnes, M., (2003), *Variable Speed Drives and Power Electronics*, Australia.
- [5] Chapman Stephen J., (2004), *Electric Machinery Fundamental*, McGraw-Hill, New York.
- [6] Isdiyarto, (2010), *Dampak Perubahan Putaran Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Jenis Rotor Sangkar*, Teknik Elektro UNS, Vol 1, No. 2.