

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 phasa 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 phasa. Kecepatan motor induksi tiga phasa 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 phasa 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 phasa, semakin besar frekuensi yang masuk pada motor induksi 3 phasa maka akan semakin cepat putaran motor induksi 3 phasa tersebut.

Kata kunci : Motor Induksi 3 Phasa, *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 menggunakan.

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

Motor induksi tiga phasa mempunyai kelemahan sulitnya mengendalikan kecepatan, karena motor induksi tiga phasa 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 phasa

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

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

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

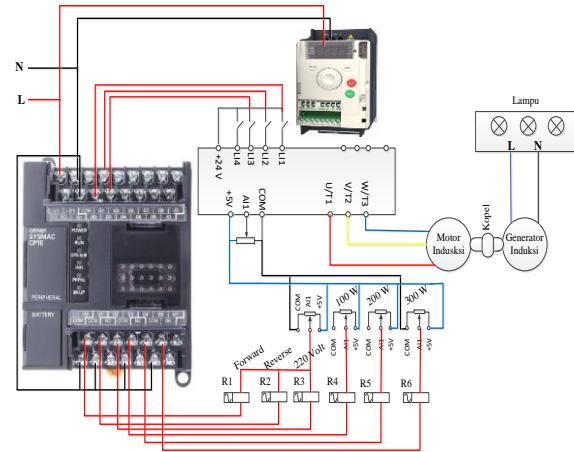
Programmable Logic Controller (PLC). *Programmable Logic Controller* (PLC) ini yang nantinya digunakan sebagai pengendali kecepatan pada motor induksi tiga phasa dengan menghubungkannya dengan *Variable Speed Drive* (VSD). *Programmable Logic Controller* (PLC) merupakan alat yang berfungsi untuk mengontrol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



Gambar 1. Perancangan PLC Dengan VSD

Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

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

Tabel 1. Spesifikasi motor induksi

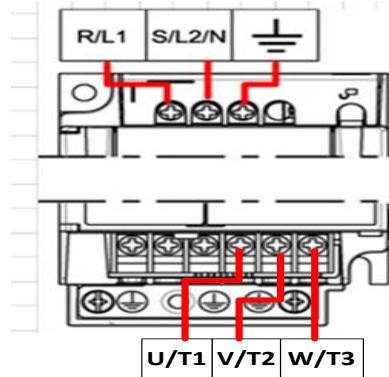
Parameter	Keterangan
Tegangan	220/380 Volt
Hubungan	Δ/Y
Arus	3,11/1,80 A
Daya	1 HP
	0,75 kW
rpm	2800 rpm
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Kutub	2

Perancangan VSD *ATV12H075M2*

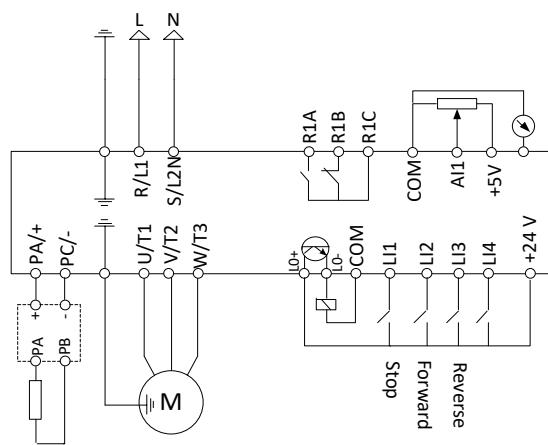
Pengaturan *ATV12H075M2* disesuaikan dengan spesifikasi motor yang digunakan / *name plate* pada motor. Perancangan VSD menggunakan sistem digital input yaitu *Setting drive parameter*. Pada pengaturan ini dimasukkan parameter-parameter sesuai dengan rating motor dan kebutuhan kecepatan motor.

Pengkabelan *ATV12H075M2*

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



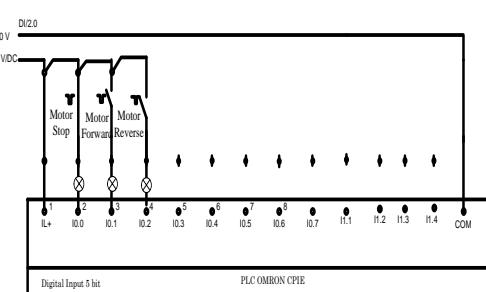
Gambar 2. Wiring Power Terminal VSD



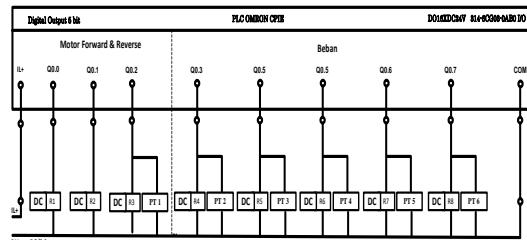
Gambar 3. Wiring diagram VSD

Rangkaian Input dan Output PLC

Dalam sistem pengendalian untuk kecepatan motor induksi tiga phasa 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 phasa 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.

Pengalamatan Input dan Output PLC Omron CP1E Saat Terkopel Beban

Dalam pengalamatan *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*. Pengalamatan *input* dan *output* dari rangkaian kontrol motor induksi tiga phasa pada saat terkopel beban pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Daftar *input* PLC Terkopel Beban

Pengalamatan	Keterangan
0.00	Motor Stop
0.01	Motor Forward
0.02	Motor Reverse
0.03	Lampu (100 W)
0.04	Lampu (200 W)
0.05	Lampu (300 W)

Tabel 3. Daftar *output* PLC Terkopel 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

R8

Pengalamatan Input dan Output PLC Omron CPIE Saat Terkopel Beban

Selanjutnya untuk pengalamatan *Input* dan *Output* tidak terkopel 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 Terkopel Beban

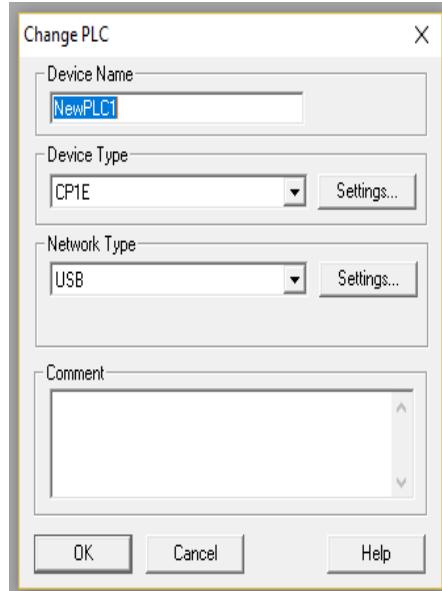
Pengalamatan	Keterangan
0.00	<i>Selector OFF</i>
0.01	<i>Selector ON 1</i>
0.02	<i>Selector ON 2</i>

Tabel 5. Daftar *output PLC* tidak Terkopel 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

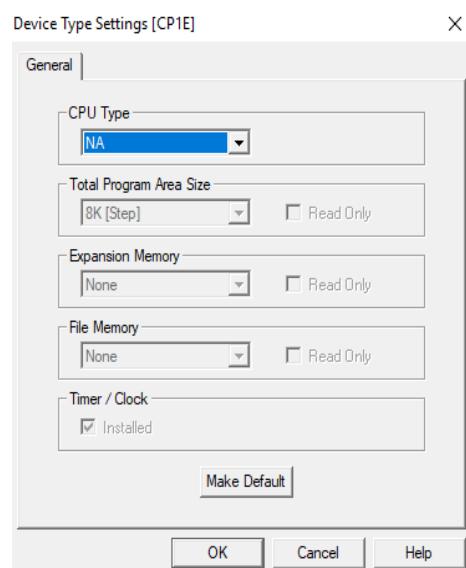
Membuat Program PLC

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 CPIE*

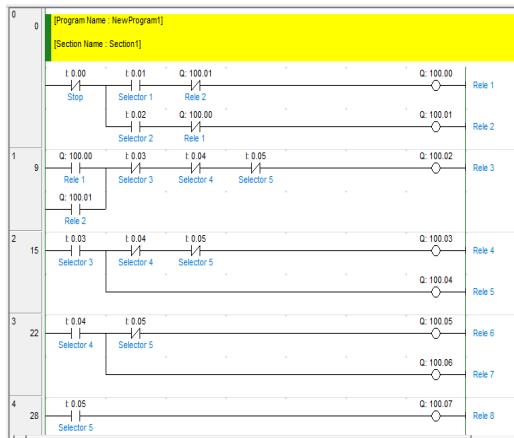
Kemudian selanjutnya *setting CPU*, karena ini merupakan bagian utama dari *PLC* sebagai *CPU* terhadap sinyal dari data *input* seperti Gambar 7.



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

Ladder Diagram (LD) Pengontrolan VSD Terkopel Beban

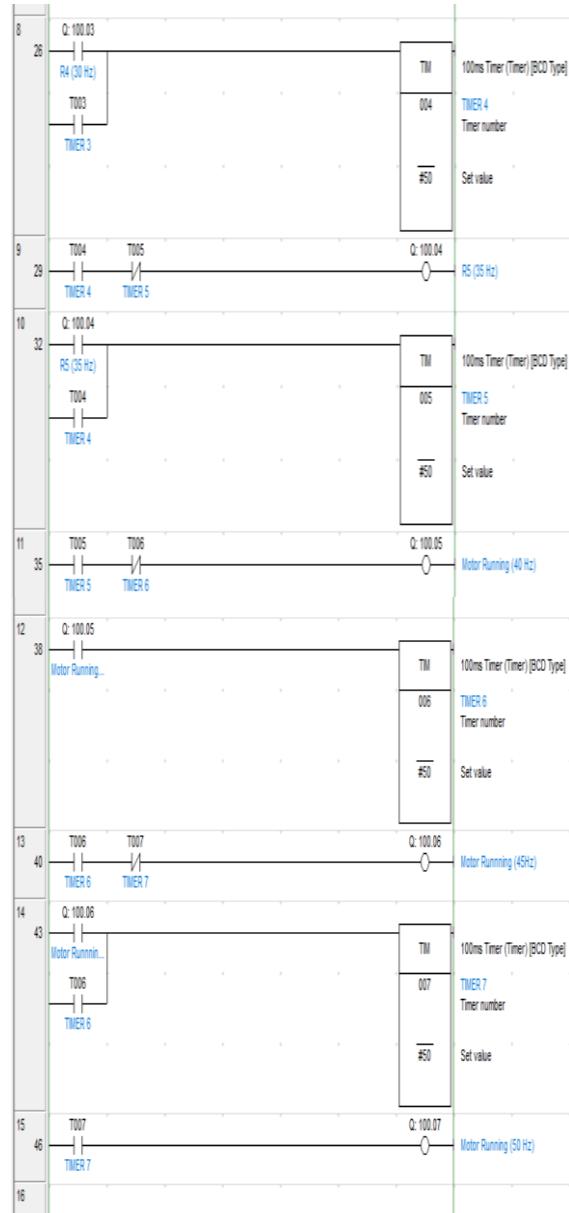
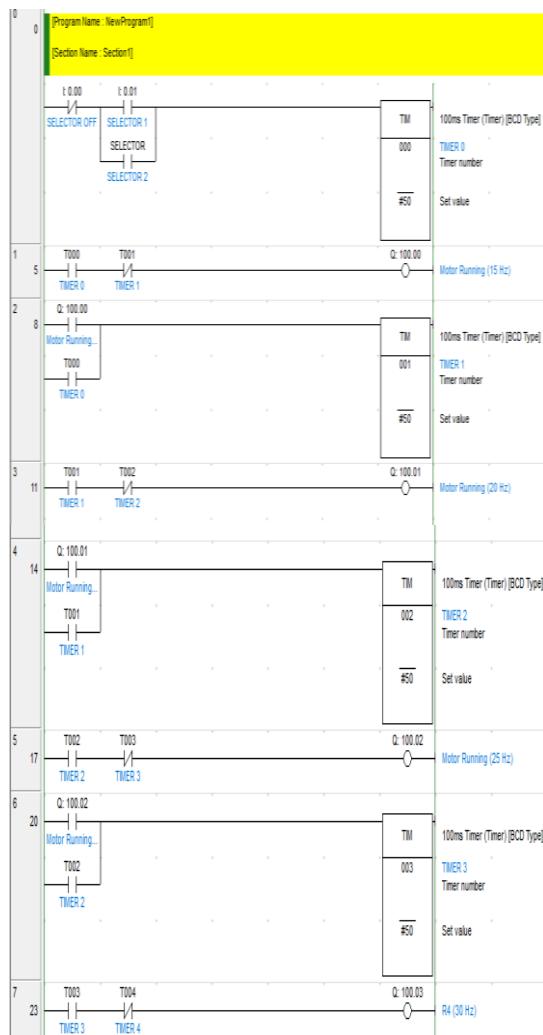
Untuk rancangan *Ladder Diagram (LD)* untuk pengontrolan VSD pada saat terkopel beban seperti pada Gambar 8 :



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

Ladder Diagram (LD) Pengontrolan VSD Tidak Terkopel Beban

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



Gambar 9. Ladder Diagram (LD) Pengontrolan VSD Tidak Terkopel 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 phasa 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 phasa tegangan yang digunakan maka motor induksi dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu [3].

a. Motor Induksi Satu Phasa

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

b. Motor Induksi tiga phasa

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

Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Phasa

Ketika catu daya AC tiga phasa terhubung ke stator terminal induksi motor, arus arus bolak-balik tiga phasa 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 phasa harus memperhatikan hal berikut [6].

1. Jika frekuensi kita naikkan 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)

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

Tegangan motor induksi tiga dengan menggunakan persamaan (8).

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

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).

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

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

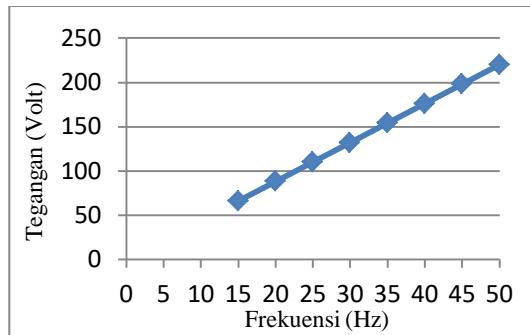
$$\begin{aligned} \omega_r &= (1 - s) \times \omega_s \\ &= (1 - 0,066) \times 314 \\ &= 293,276 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

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

Tabel 6. Hasil Perhitungan Motor Induksi Tiga Phasa

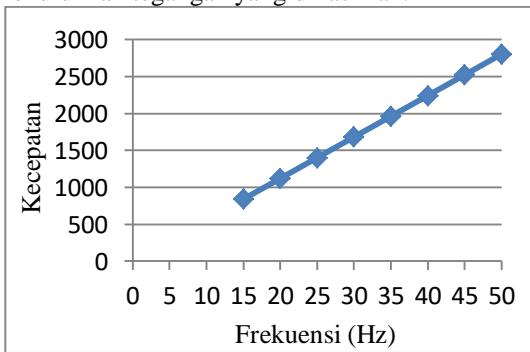
Frekuensi (Hz)	Tegangan (Volt)	Torka (N.m)	Daya (Watt)	Kecepatan (rpm)
15	66	1,594	140,287	840,6
20	88	1,583	185,709	1120
25	110	1,591	233,355	1401
30	132	1,595	280,758	1681
35	154	1,591	326,681	1961
40	176	1,591	372,358	2241
45	198	1,587	418,930	2521
50	220	1,595	467,917	2802

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.



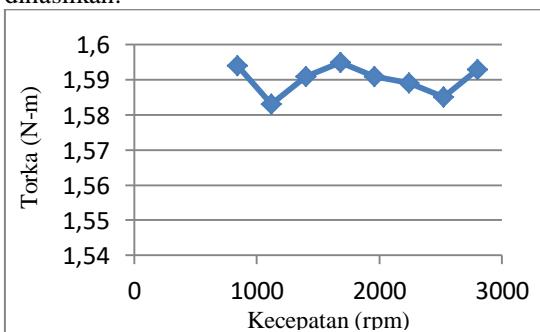
Gambar 10. Frekuensi Terhadap Tegangan Motor Induksi

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara frekuensi terhadap tegangan motor induksi tiga phasa. 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 phasa. Frekuensi yang diatur mulai dari 15 Hz sampai 50 Hz, frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan motor induksi tiga phasa, semakin besar frekuensi yang diatur maka akan semakin cepat putaran pada motor induksi tiga phasa yang dihasilkan.



Gambar 12. Kecepatan Terhadap Torka Motor Induksi

Gambar 12 menunjukkan grafik hubungan kecepatan terhadap torka motor induksi tiga phasa pada saat motor induksi tiga phasa 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 phasa 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 phasa 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 phasa 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 Phasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD)*, ISSN : 2548-6888, pp : 52–59.
- [2] Putra, E. A., (2017), *Konsep Pemrograman dan Aplikasi*, Gava Media, Yogyakarta.
- [3] Zuhal, (1988), *Zuhal 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 Phasa Jenis Rotor Sangkar*, Teknik Elektro UNS, Vol 1, No. 2.