

## ANALISIS *STARTING* MOTOR INDUKSI TIGA PHASA MENGUNAKAN *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)*

Sandhy Nuari<sup>1</sup>, Atmam<sup>2</sup>, Elvira Zondra<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

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

Email : sandhy.nuari93@gmail.com, atmam@unilak.ac.id, elviraz@unilak.ac.id

### ABSTRAK

Motor induksi adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi mempunyai banyak keunggulan dari segi teknis maupun ekonomis, karena itu motor induksi terutama jenis motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada dunia industri. Akan tetapi motor induksi juga mempunyai kekurangan, antara lain arus *starting* besar yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain dalam satu saluran. Pada motor induksi diperlukan suatu metode *starting*, yang bertujuan untuk mengurangi arus *starting* yang besar. Metode *starting* yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *starting direct on line (DOL)*, *star-delta*, dan *autotransformer*, yang salah satunya dapat dioperasikan secara otomatis dengan menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*. Dari hasil penelitian diperoleh nilai arus *starting* motor induksi tiga fasa 10 Horse Power (HP) dengan metode *starting direct on line (DOL)* hubungan *star* sebesar 50,531 Amper, metode *starting star-delta* sebesar 29,301 Amper, metode *starting autotransformer* hubungan *star* 50% sebesar 12,792 Amper, 65% sebesar 21,618 Amper, 80% sebesar 32,747 Amper, dan diperoleh nilai torsi *starting direct on line (DOL)* hubungan *star* sebesar 49,479 N.m, *starting star-delta* sebesar 16,637 N.m, *starting autotransformer* hubungan *star* 50% sebesar 12,684 N.m, 65% sebesar 21,436 N.m dan 80% sebesar 32,471 N.m.

**Kata kunci** : Motor Induksi Tiga Fasa, Metode *Starting*, *Programmable Logic Controller (PLC)*.

### ABSTRACT

An induction motor is an electrical device which can transform electrical energy into mechanical energy. Due to advantages that they provide in terms of technical and economic, induction motors, especially three-phase induction motors are widely used in industries. However, induction motors have several disadvantages, such as huge starting current causing voltage drop in a system that will interfere other parts in the system of one particular channel. Induction motors need a starting method, aiming to reduce huge starting current. The starting methods used in this research are direct on line (DOL), star-delta, and autotransformer, one of which can be operated automatically using Programmable Logic Controller (PLC). The result shows that the value of the starting current of a 10 Horse Power (HP) three-phase induction motor using DOL method is 50.53 Amps, while using star-delta method is 29.31 Amps, and using autotransformer method of star connection of 50%, 65% and 80% are 12.79 Amps, 21.61 Amps and 32.74 Amps respectively. In addition, the torsion value of DOL method of star connection is 49,479 N.m, star-delta method is 16.63 N.m, and autotransformer method of star connection of 50%, 65% and 80% are 12.68 N.m, 21.43 N.m and 32.47 N.m respectively.

**Keywords** : Three-phase Induction Motor, Starting Methods, Programmable Logic Controller (PLC).

## 1. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini motor induksi merupakan salah satu mesin listrik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, dikarenakan motor induksi lebih efisien

dibandingkan mesin listrik lainnya, baik yang diaplikasikan untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri. Motor induksi ini memiliki berbagai macam keunggulan dibandingkan mesin listrik lainnya antara lain harga dan perawatannya relatif murah, konstruksinya yang kuat dan sederhana, *startingnya*

mudah serta karakteristik kerjanya yang baik, oleh karena itu motor induksi lebih banyak digunakan.

Karena banyak dan luasnya penggunaan motor induksi ini di berbagai bidang dan kebutuhan yang beragam maka dilakukan berbagai penelitian mengenai unjuk kerja motor induksi. Diantara berbagai macam penelitian yang dilakukan, terdapat salah satu permasalahan pada motor induksi yang cukup menarik dan penting untuk diteliti yakni besarnya arus *starting* dan torsi *starting* motor induksi.

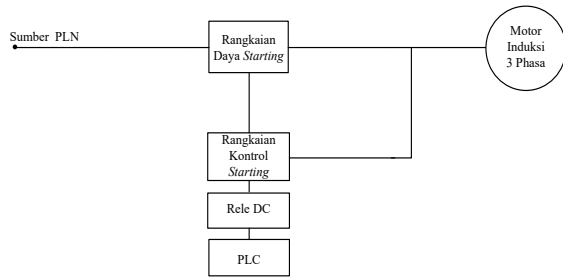
Besaran arus *starting* dan torsi *starting* pada motor induksi dapat dibandingkan satu persatu dengan menggunakan beberapa jenis metode *starting* seperti *direct on line (DOL)*, *star-delta*, dan *autotransformer*. Perbandingan besaran tersebut akan menghasilkan suatu karakteristik dengan tujuan untuk mengetahui cara dan waktu pengasutan motor yang paling bagus.

Pengoperasian metode *starting* motor induksi salah satunya dapat dioperasikan dengan menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*. *PLC* merupakan alat yang berfungsi untuk mengontrol rangkaian metode *starting* motor induksi secara otomatis.

## 2. METODE PENELITIAN

### Pembuatan Blok Diagram

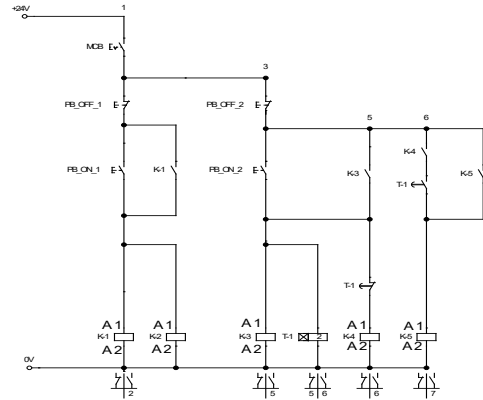
Diagram blok Pengoperasian motor induksi tiga fasa menggunakan metode *starting direct on line (DOL)*, *starting star-delta* dan *starting autotransformer* dikontrol dengan *programmable logic controller (PLC)* tipe *CPIE* seperti pada Gambar 1 :



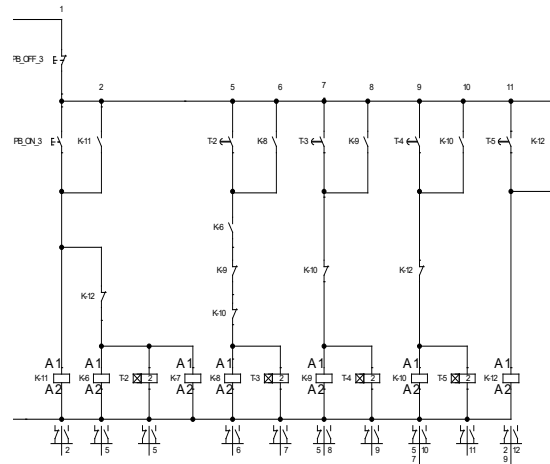
Gambar 1. Diagram Blok Motor Induksi Tiga Fasa Suplai Tegangan Satu Fasa

### Perancangan Rangkaian Pengawatan

Rangkaian kontrol pada *starting direct on line (DOL)*, *starting star-delta* seperti pada Gambar 2, dan *starting autotransformer* seperti pada Gambar 3 :

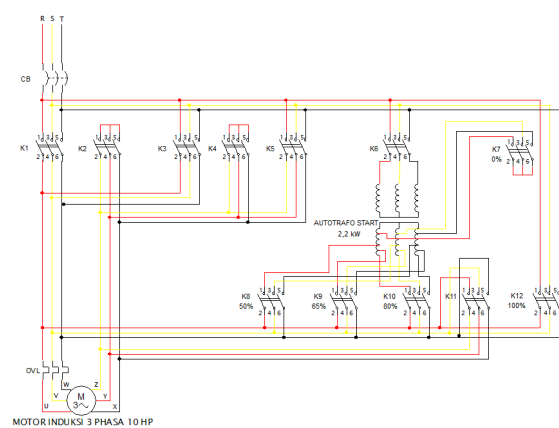


Gambar 2. Rangkaian Kontrol *Starting Direct On Line (DOL)* dan *Starting Star-Delta*



Gambar 3. Rangkaian Kontrol *Starting Autotransformer*

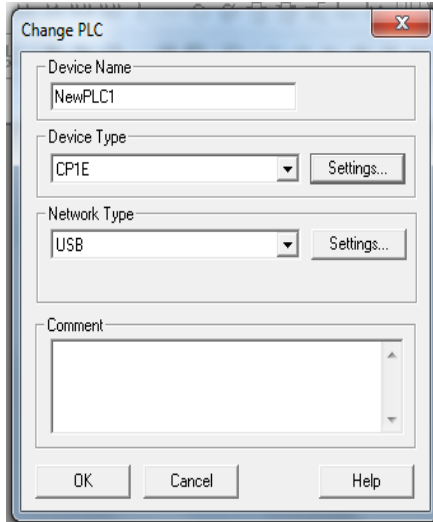
Pengawatan Rangkaian Daya *Starting* Motor Induksi Tiga Fasa seperti pada Gambar 4 :



Gambar 4. Pengawatan Rangkaian Daya *Starting* Motor Induksi Tiga Fasa yang Terdiri dari *Starting Direct On Line (DOL)*, *Star-Delta* dan *Autotransformer*

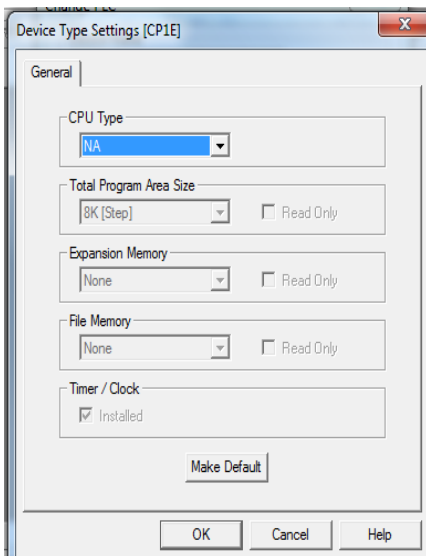
### Membuat Program PLC

Bahasa program yang digunakan adalah *Ladder Diagram (LD)*. Pertama adalah konfigurasi tipe PLC ditunjukkan pada Gambar 5 :



Gambar 5. Konfigurasi PLC Omron Type CP1E

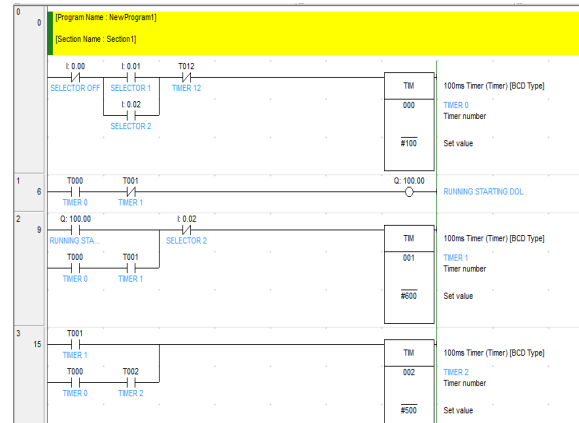
Kedua *setting type CPU* yang merupakan bagian utama dari PLC sebagai *Central Processor Unit* terhadap sinyal data *input* seperti pada Gambar 6 :



Gambar 6. Setting Type CPU

### Ladder Diagram (LD) Starting Direct On Line (DOL)

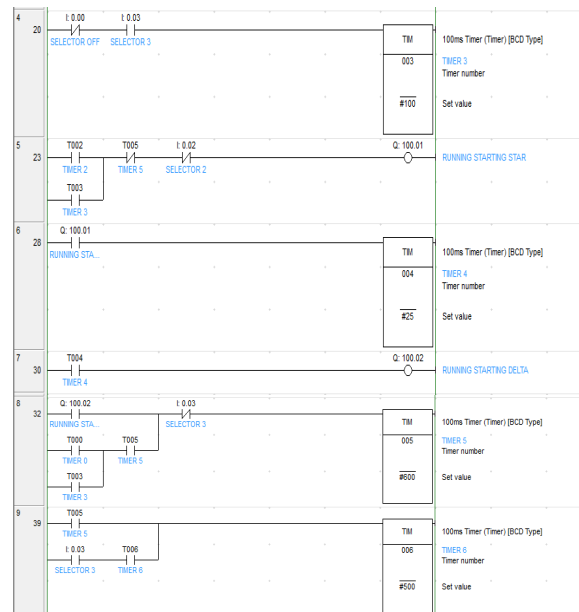
Rancangan *Ladder Diagram (LD) starting direct on line (DOL)* seperti pada Gambar 7 :



Gambar 7. Rancangan Ladder Diagram (LD) Metode Starting Direct On Line (DOL)

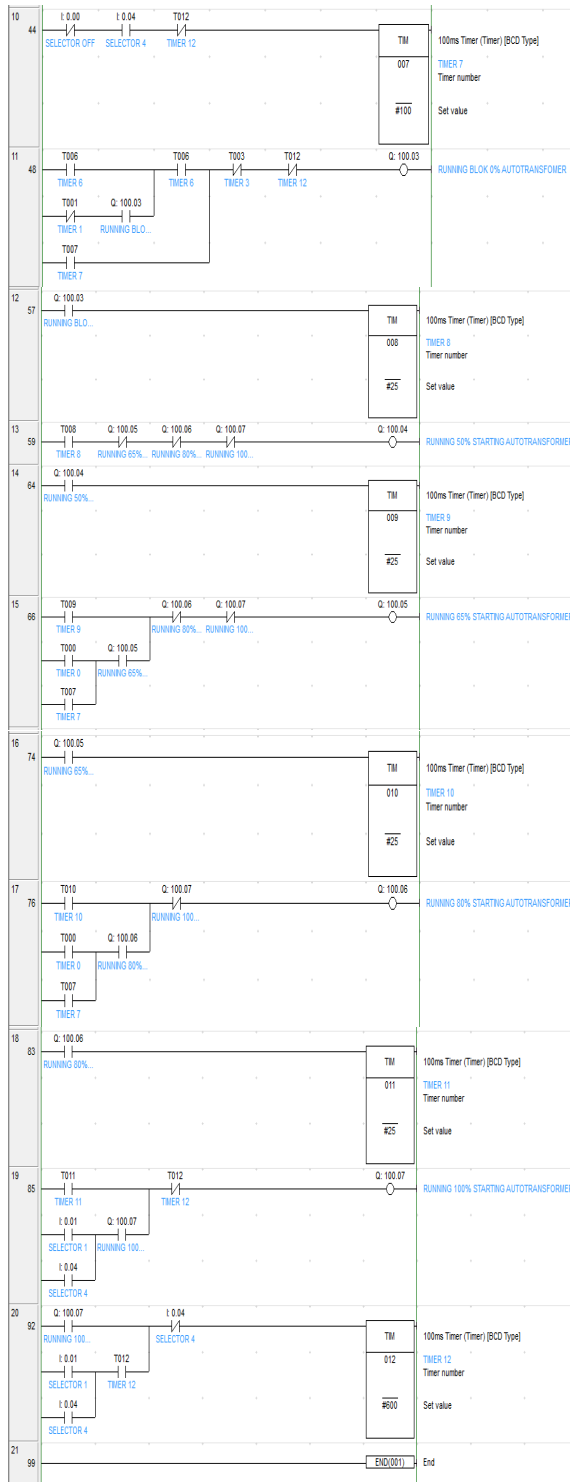
### Ladder Diagram (LD) Starting Star-Delta

Rancangan *Ladder Diagram (LD) starting star-delta* seperti pada Gambar 8 :



Gambar 8. Rancangan Ladder Diagram (LD) Metode Starting Star-Delta

**Ladder Diagram (LD) Starting Autotransformer**  
 Rancangan Ladder Diagram (LD) starting autotransformer seperti pada Gambar 9 :



Gambar 9. Rancangan Ladder Diagram (LD) Metode Starting Autotransformer

**Motor Induksi**

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Garis-garis gaya fluks yang di induksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul gaya gerak listrik (ggl) atau tegangan induksi dan karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya *lorentz* yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutup tertentu. Jumlah kutup ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutup akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya, kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan *sinkron* [1].

Ditinjau dari jumlah fasa tegangan yang digunakan maka motor induksi dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu [2] :

- a. Motor induksi satu fasa

Disebut motor satu fasa karena untuk menghasilkan tenaga mekanik, pada motor tersebut disuplai dengan tegangan satu fasa. Motor satu fasa tersebut disebut motor fasa belah. Macam-macam motor satu fasa yaitu motor kapasitor, motor kutub bayangan, motor *repulsi*, dan motor seri.

- b. Motor induksi tiga fasa

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

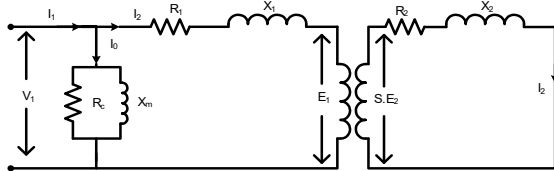
**Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa**

Motor induksi adalah peralatan listrik yang mengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Dalam motor induksi, tidak ada hubungan listrik ke rotor, arus rotor merupakan arus induksi. Arus ini berada dalam medan magnetik sehingga akan terjadi gaya pada rotor yang akan menggerakkan rotor dalam arah tegak lurus medan.

Apabila terminal stator motor induksi tiga fasa dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa, maka pada kumparan stator mengalir arus tiga fasa. Arus pada tiap fasa menghasilkan fluksi bolak-balik yang berubah-ubah. Amplitudo fluksi yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan fasa [3].

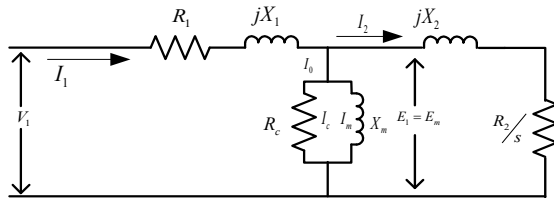
### Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Prinsip kerja motor induksi sama dengan prinsip kerja *transformator*, yaitu berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu motor induksi dapat dianggap sebagai *transformator* dengan kumparan sekunder yang berputar. Dengan demikian rangkaian ekuivalen motor induksi seperti pada Gambar 1 [4]:



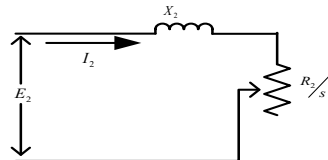
Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Motor Asinkron

Bila rangkaian sekunder dibagi tahananannya dengan slip dan dinyatakan dalam rangkaian primer, maka rangkaian ganti dari motor induksi seperti Gambar 2 [5]:



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen dilihat dari Sisi Stator Motor Induksi

Rangkaian pengganti pada rotor motor induksi seperti pada Gambar 3 [5]:



Gambar 3. Rangkaian Ekuivalen Rotor

### Percobaan DC

Harga  $R_{1DC}$  dapat dihitung, untuk kumparan dengan hubungan *star*, adalah sebagai berikut [6]:

$$R_{1DC} = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}} \quad (1)$$

$$R_1 = k \times R_{1DC} \quad (2)$$

Keterangan :

k = Faktor pengali, besarnya 1,1-1,3 [5]

### Percobaan Rotor Beban Nol

Dengan tidak adanya beban mekanis yang terhubung ke rotor dan tegangan normal diberikan ke

terminal, maka didapat besar sudut fase antara arus ( $I_0$ ) dan tegangan ( $V_0$ ) adalah [5]:

$$\theta_0 = \cos^{-1} \left( \frac{P_0}{V_0 I_0} \right) \quad (3)$$

Keterangan :

$P_0$  =  $P_{nl}$  = Daya saat beban nol per fasa

$V_0$  =  $V_{nl}$  = Tegangan masukan saat beban nol

$I_0$  =  $I_{nl}$  = Arus beban nol

Kemudian reaktansi beban nol didapat [5]:

$$X_{nl} = X_1 + X_m \quad (4)$$

Dalam keadaan yang sebenarnya  $R_1$  lebih kecil jika dibandingkan dengan  $X_m$  dan juga  $R_c$  jauh lebih besar dari  $X_m$ , sehingga impedansi yang didapat dari percobaan beban nol dianggap  $jX_1$  dan  $jX_m$  yang diserikan [5].

$$Z_{nl} = \frac{V_{nl}}{I_{nl} \sqrt{3}} \quad (5)$$

Sehingga didapat [5]:

$$R_{nl} = \frac{P_{nl}}{I_{nl}^2} \quad (6)$$

Maka reaktansi beban nol [5]:

$$X_{nl} = \sqrt{Z_{nl}^2 - R_{nl}^2} \quad (7)$$

Keterangan :

$X_{nl}$  = Reaktansi rotor beban nol

$R_{nl}$  = Resistansi rotor beban nol

$Z_{nl}$  = Impedansi rotor beban nol

$X_1$  = Impedansi stator

$X_m$  = Reaktansi magnetisasi

### Percobaan Rotor Tertahan

Impedansi perphasa pada saat rotor tertahan ( $Z_{LR}$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$Z_{LR} = \frac{V_{LR}}{\sqrt{3} \cdot I_{LR}} \quad (9)$$

Resistansi stator pada saat rotor ditahan [5]:

$$R_{LR} = \frac{P_{LR}}{I_{LR}^2} \quad (10)$$

Atau [1] :

$$R_{LR} = R_1 + R_2 \quad (11)$$

Maka reaktansi rotor tertahan [5] :

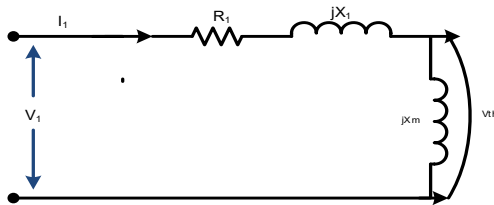
$$X_{LR} = |Z_{LR}| \sin \theta \quad (12)$$

Keterangan :

- $V_{LR}$  = Tegangan rotor tertahan
- $P_{LR}$  = Daya rotor tertahan
- $I_{LR}$  = Arus rotor tertahan
- $R_1$  = Resistansi stator perphasa
- $R_2$  = Resistansi rotor perphasa

### Rangkaian Thevenin Motor Induksi Tiga Phasa

Karakteristik torka terhadap slip diperoleh dengan membuat rangkaian *Thevenin* pada Gambar 4 [6] :



Gambar 4. Rangkaian *Thevenin* Motor Induksi

Resistansi *Thevenin* diperoleh [6] :

$$R_{Th} = R_1 \left( \frac{X_m}{X_1 + X_m} \right)^2 \quad (13)$$

Tegangan *Thevenin* diperoleh [6] :

$$V_{Th} = V_\phi \times \frac{X_m}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_m)^2}} \quad (14)$$

Tegangan per phasa [6] :

$$V_\phi = \frac{V_s}{\sqrt{3}} \quad (15)$$

Sedangkan Reaktansi *Thevenin*  $X_{Th} \approx X_1$ .

Untuk menghitung arus *starting* motor induksi tiga phasa dapat digunakan persamaan berikut [6] :

$$[I_{start}] = \frac{V_{Th}}{\sqrt{(R_{Th} + R_2)^2 + (X_{Th} + X_2)^2}} \quad (16)$$

Dan untuk menghitung torsi *starting* motor induksi tiga phasa dapat digunakan persamaan berikut [6] :

$$[T_{start}] = \frac{3 \cdot (V_{Th})^2 \cdot (R_2 / s)}{\omega_s \cdot (R_{Th} + R_2 / s)^2 + (X_{Th} + X_2)^2} \quad (17)$$

Keterangan :

- $V_\phi$  = Tegangan per phasa
- $R_1$  = Tahanan stator
- $R_2$  = Tahanan rotor
- $X_1$  = Impedansi stator
- $X_2$  = Impedansi rotor
- $X_m$  = Reaktansi magnetisasi
- $s$  = Slip

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Arus dan Torsi *Starting Direct On Line (DOL) Hubungan Kumparan Motor Star*

Untuk mendapatkan arus *starting direct on line (DOL)* hubungan kumparan motor *star* digunakan persamaan (16) dan untuk mendapatkan torsi *starting direct on line (DOL)* hubungan kumparan motor *star* digunakan persamaan (17) sebagai berikut :

$$I_{start} = \frac{377,821}{\sqrt{(1,61 + 1,711)^2 + (3,349 + 3,349)^2}} = 50,531 \text{ Amper}$$

$$T_{start} = \frac{3 \times (377,821)^2 \times (1,711 / 0,033)}{157 \times (1,61 + 1,711 / 0,033)^2 + (3,349 + 3,349)^2} = 49,479 \text{ N.m}$$

### Arus dan Torsi *Starting Star-Delta*

Untuk mendapatkan arus *starting star-delta* digunakan persamaan (16) dan untuk mendapatkan torsi *starting star-delta* digunakan persamaan (17) sebagai berikut :

$$I_{start} = \frac{219,083}{\sqrt{(1,61 + 1,711)^2 + (3,349 + 3,349)^2}} = 29,301 \text{ Amper}$$

$$T_{start} = \frac{3 \times (219,083)^2 \times (1,711 / 0,033)}{157 \times (1,61 + 1,711 / 0,033)^2 + (3,349 + 3,349)^2} = 16,637 \text{ N.m}$$

**Arus dan Torsi Starting Autotransformer Hubungan Kumparan Motor Star**

Untuk mendapatkan arus *starting autotransformer* hubungan kumparan motor *star* digunakan persamaan (16) dan untuk mendapatkan torsi *autotransformer* hubungan kumparan motor *star* digunakan persamaan (17), yang dikalikan dengan besarnya masing-masing *tapping autotransformer* 50%, 65%, dan 80% sebagai berikut :

$$I_{start} = (50\%)^2 \times \frac{382,589}{\sqrt{(1,61 + 1,711)^2 + (3,349 + 3,349)^2}} = 12,792 \text{ Amper}$$

$$T_{start} = (50\%)^2 \times \frac{3 \times (382,589)^2 \times (51,848)}{157 \times (1,61 + 51,848)^2 + (3,349 + 3,349)^2} = 12,684 \text{ N.m}$$

Hasil perhitungan arus *starting*, dan torsi *starting* motor induksi tiga fasa menggunakan metode *starting direct on line (DOL)* hubungan kumparan motor *star*, *starting direct on line (DOL)* hubungan kumparan motor *delta*, *starting star-delta*, *starting autotransformer* 50%, 65%, dan 80% hubungan kumparan motor *star*, dan *autotransformer* 50%, 65%, dan 80% hubungan kumparan motor *delta* seperti pada Tabel 1 :

Tabel 1. Hasil Perhitungan dan Pengukuran Arus *Starting* dan Torsi *Starting* Motor Induksi Tiga Fasa

Metode <i>Starting</i> dan Hubungan Kumparan Motor	Hasil Perhitungan		Hasil Pengukuran	
	$I_{Start}$ (Amper)	$T_{Start}$ (N.m)	$I_{Start}$ (Inrush) (Amper)	$I_{Start}$ (Peak) (Amper)
<i>DOL</i> Hubungan <i>Star</i>	50,531	49,479	34,31	61
<i>DOL</i> Hubungan <i>Delta</i>	86,918	146,398	50,9	79
<i>Star-Delta</i>	29,301	16,637	11,1	47
<i>Autotransformer</i> 50% Hubungan <i>Star</i>	12,792	12,684	14,8	23
<i>Autotransformer</i> 65% Hubungan <i>Star</i>	21,618	21,435	11,6	18
<i>Autotransformer</i> 80% Hubungan <i>Star</i>	32,747	32,471	7,7	12
<i>Autotransformer</i> 50% Hubungan <i>Delta</i>	22,179	38,129	21,3	34
<i>Autotransformer</i> 65% Hubungan <i>Delta</i>	37,483	64,439	2,7	12
<i>Autotransformer</i> 80% Hubungan <i>Delta</i>	56,778	97,613	3,4	11

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai arus *starting* motor induksi tiga fasa 10 Horse Power (HP) dengan metode *starting Direct On Line (DOL)* hubungan *star* sebesar 50,531 Amper, *Direct On Line (DOL)* hubungan *delta* sebesar 86,918 Amper, metode *starting Star-Delta* sebesar 29,301 Amper, metode *starting Autotransformer* hubungan *star* 50% sebesar 12,792 Amper, 65% sebesar 21,618 Amper, 80% sebesar 32,747 Amper, dan metode *starting Autotransformer* hubungan *delta* 50% sebesar 22,179 Amper, 65% sebesar 37,483 Amper, 80% sebesar 56,778 Amper.

2. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai torsi *starting* motor induksi tiga fasa 10 HP dengan metode *starting DOL* hubungan *star* sebesar 49,479 N.m, *DOL* hubungan *delta* sebesar 146,398 N.m, metode *starting Star-Delta* sebesar 16,637 N.m, metode *starting Autotransformer* hubungan *star* 50% sebesar 12,684 N.m, 65% sebesar 21,436 N.m, 80% sebesar 32,471 N.m, dan metode *starting Autotransformer* hubungan *delta* 50% sebesar 38,129 N.m, 65% sebesar 64,439 N.m, 80% sebesar 97,613 N.m.
3. Dari metode *starting Direct On Line (DOL)*, *starting Star-Delta*, dan *starting Autotransformer* diketahui arus dan torsi *starting* dengan metode *starting Direct On Line (DOL)* yang menghasilkan arus dan torsi *start* paling besar dibandingkan arus dan torsi *start* dengan metode *starting Star-Delta* dan metoda *starting Autotransformer*.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anton, 2013, *Unjuk Kerja Dan Pemanfaatan Inverter Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Phasa*, Jurnal Elektron, ISSN 2085-6989, Vol. 5, No. 2, Padang.
- [2] Sumanto, 1989, *Mesin Arus Searah*, Andi Offset, Yogyakarta.
- [3] Zuhail, 1991, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, ITB, Bandung.
- [4] Rijono Yon, 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Andi, Yogyakarta.
- [5] Bimbhra, P, S., 1979, *Electrical Machinery*, Khanna Publisher, Australia.
- [6] Chapman, Stephen J., 2005, *Electric Machinery Fundamental*, Fourt Edition, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.