

Research Article

Perancangan Pengasutan Bintang – Segitiga dan Pengereman Dinamik pada Motor Induksi 3 Fasa dengan Menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC)Isna Joko Prakoso¹, Agung Warsito², Tejo Sukmadi²

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
2. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstract

Three-phase induction motor is the motor of alternating current (AC) is the most widely used and much used by the industry because it has several advantages, among others, this motor is simple, in expensive and easy to maintain and can be directly connected to an AC power source. Besides the advantages of this motor, also has disadvantages. The disadvantage of this induction motor which has a large starting currents and the use of induction motors are often needed to stop the motor rotation quickly, especially for conveyor applications. At this final project, created a system starting star (Y)-triangle (Δ) and the dynamic braking of three phase induction motor using a Programmable Logic Controller (PLC). Where the system is very simple, does not require a lot of support tools and can be applied to any type of three-phase induction motors. Starting of the test results to show that the method starting with Y- Δ has a starting current of 3.59 A. This current is smaller than the nominal starting current induction motor 1 HP is 6.3 A relationship Δ and 3.62 A relationships Y. Starting time is good for the displacement of the star (Y) - triangle (Δ) is 6 seconds, so the starting of induction motors using the star (Y) - triangle (Δ) can reduce the high current flow starting of induction motor starts to operate. For braking, DC injection current is supplied by 1.908 A and the stop time for load 100 W is 1,57 seconds, for load 200 W is 1,38 seconds, and for load 300 W is 0,95 seconds. Time stopped by dynamic braking faster than without dynamic braking.

Keywords : Starting star (Y)-triangle (Δ), dynamic braking, three-phase induction motor, Programmable Logic Control (PLC)

I. PENDAHULUAN**1.1 Latar Belakang**

Dalam dunia kerja sekarang ini, banyak sekali industri menggunakan motor untuk pengoperasiannya. Kebanyakan motor yang digunakan adalah motor induksi. Salah satu aplikasi motor induksi di industri adalah untuk menggerakkan conveyor. Kelancaran akan sistem produksi di industri sangat ditentukan oleh kinerja dari motor induksi.

Motor induksi yang sering digunakan adalah motor induksi 3 fasa. Motor ini memiliki kelebihan dari segi teknis dan segi ekonomis. Segi teknis, motor ini memiliki daya yang besar, konstruksi yang sederhana, kokoh dan perawatannya yang mudah, sedangkan dari segi ekonomis, motor ini memiliki harga yang murah sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor dc dalam dunia industri. Namun dalam kenyataannya, motor induksi paling banyak menimbulkan goncangan tegangan (*flicker*) dan arus awal (*starting*) yang besar (5–7 kali I_{nominal}). Hal ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar pada pasokan tegangan PLN. Untuk motor dengan daya kecil, arus *starting* tidak terlalu berpengaruh terhadap drop tegangan, sedangkan untuk motor dengan daya yang lebih besar akan menyebabkan drop tegangan yang besar pula dan menurunkan kualitas listrik yang berpengaruh pada penerangan yang berkedip serta hentakan motor yang mengakibatkan motor cepat rusak. Selain itu, untuk motor berdaya besar, waktu berhenti putaran motor relatif lama. Hal ini menyebabkan proses produksi di industri mengalami penurunan.

Salah satu alternatif untuk mengatasi kekurangan motor induksi adalah menggunakan metode pengasutan. Sistem pengasutan sekarang ini telah banyak digunakan secara luas karena memiliki kelebihan antara lain menurunkan arus

starting yang besar. Dengan arus *starting* yang lebih rendah, maka drop tegangan PLN tidak terlalu besar dan kualitas listrik menjadi lebih baik serta motor tidak akan cepat rusak. Selain itu, dengan menggunakan metode pengereman, untuk motor berdaya besar waktu berhenti putaran motor lebih cepat sehingga proses produksi di industri dapat berproduksi sesuai dengan target.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, banyak industri yang menuntut sistem pengoperasian motor yang murah dan mudah, khususnya untuk motor induksi. Pengoperasian yang mudah dan murah yaitu menggunakan komputer, terutama komputer jenis PC. Beberapa keunggulan komputer dalam mengoperasikan motor induksi adalah dapat dikendalikan dari jarak jauh, *real-time*, dan mudah pengawasannya. Dari fenomena tersebut dan dampak yang ditimbulkan seperti diatas melatarbelakangi pentingnya dilakukan perancangan suatu alat khususnya untuk menurunkan arus *starting* motor dan waktu berhenti motor lebih cepat dengan sistem pengoperasian yang lebih efektif.

Penelitian mengenai pengereman dinamik pada motor induksi tiga fasa dengan menggunakan metode *Direct On Line* (DOL) pernah dilakukan. Dari penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa waktu berhenti motor induksi dengan pengereman dinamik berkurang jika arus injeksi dc dan beban lampu bertambah besar. (Mas Anantha Budhy Prakosa, 2006)^[1].

Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Reza Fakhri (2007)^[3], yang bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem pengaturan menggunakan PLC pada sistem pengasutan dan proteksi bintang (Y)-segitiga (Δ) motor induksi tiga fasa 1 HP baik dalam kondisi normal maupun tidak normal (ada gangguan).

Berdasarkan uraian tersebut, Penulis mencoba membuat sistem pengoperasian, dalam hal ini adalah pengasutan bintang (Y)–segitiga (Δ) dan pengereman dinamik motor induksi tiga fasa, yang dikontrol dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) dan belum pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Dengan menggunakan sistem pengasutan bintang (Y)-segitiga (Δ) dan pengereman dinamik diharapkan dapat mengurangi besarnya arus *starting* dan waktu berhenti motor induksi berlangsung lebih cepat.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Membuat perangkat keras sistem pengaturan menggunakan PLC pada pengasutan bintang (Y)-segitiga (Δ) dan pengereman dinamik motor induksi tiga fasa 1 HP.
2. Menentukan waktu yang tepat untuk perpindahan dari bintang (Y)–segitiga (Δ) dan mendapatkan arus *starting* yang rendah untuk pengasutan motor induksi tiga fasa 1 HP.
3. Menentukan arus injeksi yang tepat dan mendapatkan waktu yang sesuai untuk pengereman dinamik motor induksi tiga fasa 1 HP

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Motor yang digunakan motor induksi tiga fasa 1 HP tipe sangkar tupai yang dikopel generator DC penguatan terpisah 1 HP.
2. Metode pengasutan yang digunakan adalah metode pengasutan bintang (Y)–segitiga (Δ).
3. Sistem pengereman dinamik yaitu menggunakan rangkaian *DC chopper* kelas *regulator buck*.
4. *Programmable Logic Control* (PLC) yang digunakan adalah tipe OMRON CQM1-CPU21.
5. Pembuatan program bantu menggunakan *CX Programmer Version 5.0*, melalui komunikasi serial menggunakan kabel *USB to RS232*.
6. Tidak dibahas mengenai adanya harmonisa arus dan harmonisa tegangan yang ditimbulkan pada saat pengasutan maupun pengereman motor induksi 3 fasa dan pada saat dibebani maupun tidak dibebani.
7. Tidak membahas mengenai perhitungan pengkopelan antara motor induksi dengan generator dc.
8. Tidak membahas mengenai generator dc dan sistem *eksitasi*/penguatannya.

II. DASAR TEORI

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan karena kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerja yang baik.



Gambar 2.1 Fisik motor induksi

Motor induksi tiga fasa memiliki dua komponen dasar yaitu stator dan rotor.

2.1.1 Stator Motor Induksi Tiga Fasa

Komponen Stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa.



Gambar 2.2 Tumpukan inti dan kumparan dalam cangkang stator.

2.1.2 Rotor Motor Induksi Tiga Fasa^[10]

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

1. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai (*squirrel-cage motor*)

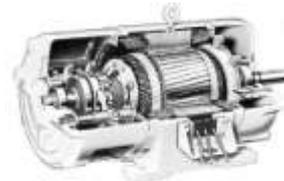
Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta ataupun bintang. Rotor jenis rotor sangkar ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rotor sangkar

2. Motor induksi tiga fasa rotor belitan (*wound-rotor motor*)

Motor induksi rotor belitan adalah motor yang memiliki rotor terbuat dari lilitan. Motor induksi rotor lilitan jarang digunakan bila dibandingkan dengan motor induksi sangkar tupai karena harganya mahal dan biaya pemeliharaan lebih besar.



Gambar 2.4 Motor induksi rotor belitan

2.2 Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa^[7]

Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama.

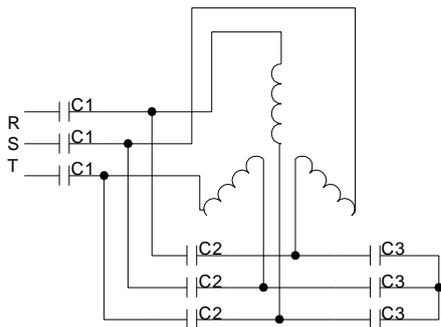
Untuk motor yang berdaya besar tentu arus pengasutan juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengan daya besar tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung. Untuk menghindari hal tersebut, suatu motor induksi seringkali di-start dengan level tegangan yang lebih rendah dari tegangan nominalnya.^[22] Starting motor induksi dapat dilakukan dengan cara :^[3]

- Pengasutan DOL (Direct On Line)
- Pengasutan bintang-segitiga
- Pengasutan dengan autotrafo
- Pengasutan dengan tahanan mula bertingkat

- Pengasutan dengan Tahanan Primer
- Pengasutan dengan Soft Starter
- Pengasutan dengan saklar elektronik

2.2.1 Sistem Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa Metode Bintang–Segitiga (Y-Δ)^[7]

Sistem pengasutan bintang segitiga adalah metode pengasutan dengan pengurangan tegangan. Sebuah motor induksi dengan hubungan bintang-segitiga memiliki enam buah terminal sehingga dapat diswitch, baik untuk hubungan bintang atau segitiga. Motor dihubungkan bintang (kontakor C₁ dan C₃ ON) pada waktu pertama kali di-start, dan ketika motor telah mendekati kecepatan normal, hubungan diubah menjadi hubungan segitiga (kontakor C₃ OFF dan kontakor C₂ ON).



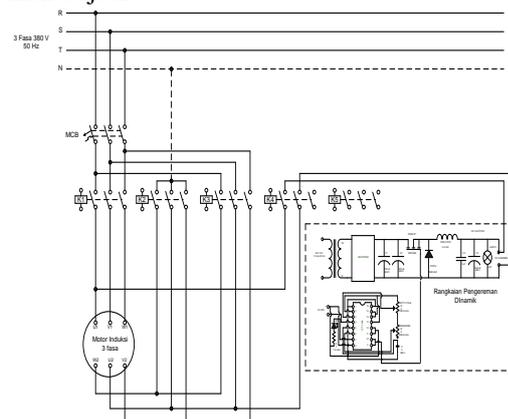
Gambar 2.6 Pengasutan bintang – segitiga

2.3 Pengereman Pada Motor Listrik^[16]

Pada penggunaan motor Induksi sering dibutuhkan proses menghentikan putaran motor dengan cepat, terutama pada aplikasi konveyor. Untuk menghentikan putaran rotor torsi pengereman, diperlukan yang mana dapat dihasilkan secara mekanik maupun secara kelistrikan.

2.3.1 Pengereman Dinamik (Dynamic Breaking)^[16]

Pengereman ini dilakukan dengan cara menginjeksikan arus dan tegangan DC pada belitan stator motor induksi setelah dilepaskan dari sumber tegangan suplai fasa. Arus searah yang diinjeksikan pada kumparan stator akan mengembangkan medan stationer untuk menurunkan tegangan pada rotor dan menghasilkan medan magnet. Medan magnet akan berputar dengan kecepatan yang sama dengan rotor tetapi dengan arah yang berlawanan untuk menjadikan stationer terhadap stator. Interaksi medan resultan dan gerak gaya magnet rotor akan mengembangkan torsi yang berlawanan dengan torsi motor sehingga pengereman terjadi.



Gambar 2.7 Pengereman dinamik dengan injeksi arus searah pada motor induksi tiga fasa

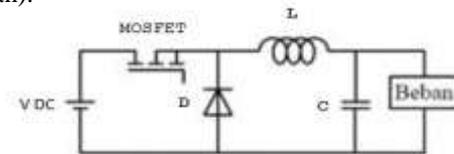
Rangkaian pengereman dinamik menggunakan rangkaian DC chopper buck converter.

2.3.2 DC Chopper^[16]

DC Chopper yang disebut juga dc-dc converter merupakan rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengubah tegangan dc yang tetap menjadi tegangan dc yang dapat diubah-ubah sesuai dengan level tegangan yang diinginkan baik dibawah atau diatas tegangan DC masukan melalui pengaturan kondisi on-off (duty cycle) rangkaian dc chopper.

2.3.2.1 Step-Down (Buck) Converter^[17]

Converter jenis buck merupakan jenis converter yang banyak digunakan dalam industri catu-daya. Converter ini akan mengkonversikan tegangan dc masukan menjadi tegangan dc lain yang lebih rendah (converter penurunan tegangan).



Gambar 2.8 Rangkaian buck converter

2.4 PLC (Programmable Logic Control)

PLC merupakan sistem kontrol berbasis komputer, yaitu sebuah komputer mini yang dapat diprogram untuk mengolah input dan mengeluarkannya melalui terminal output sesuai yang diharapkan.

Fungsi PLC adalah sebagai berikut :^[7]

1. Kontrol Sekuensial. PLC memproses input sinyal biner menjadi output yang digunakan untuk mengaktifkan aktuator (peralatan output) yang dapat berupa motor listrik, kontakor, katup selenoid, lampu, dan sebagainya. Dengan peralatan output, besaran listrik diubah kembali menjadi besaran fisik. Disini PLC menjaga agar semua langkah dalam proses sekuensial (berurutan) berlangsung dalam urutan yang tepat.
2. PLC secara terus menerus memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol (misalnya nilai sudah melebihi batas) atau menampilkan pesan tersebut kepada operator.

2.4.1 Komponen PLC^[7]

PLC atau biasa disebut PC (Programmable Controller) adalah suatu perangkat yang dapat dengan mudah diprogram yang digunakan untuk mengontrol peralatan. PLC sederhana mempunyai komponen utama berupa CPU (Central Processing Unit), Unit I/O, Programming Console, Rack atau Mounting Assembly dan power supply.

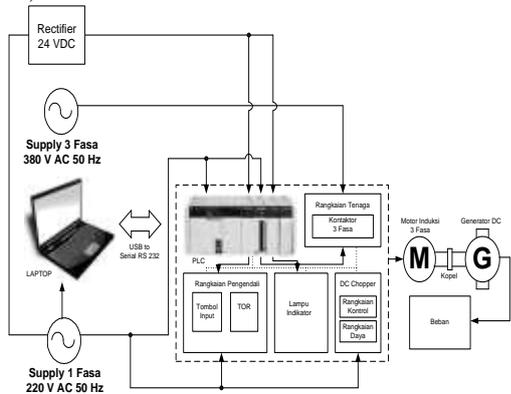
PLC yang digunakan dalam penelitian ini adalah PLC Sysmac CQM1, produk Omron.



Gambar 2.9 PLC Sysmac CQM1

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan sistem pengasutan bintang (Y) – segitiga (Δ) dan pengereman dinamik motor induksi tiga fasa dengan PLC dibagi atas dua bagian yaitu perancangan perangkat keras sistem (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*).



Gambar 3.1 Diagram blok sistem

3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

3.1.1 Spesifikasi dari Motor Induksi Tiga Fasa dan Generator DC Penguat Terpisah

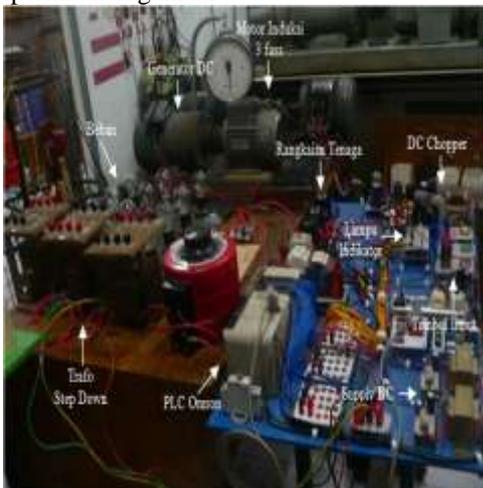
Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Induksi Tiga Fasa dan Generator DC Penguatan Terpisah

Motor Induksi Tiga Fasa	Generator DC Penguatan Terpisah
Tegangan : 380 / 220 V	Daya : 1 HP
Hubungan : Y/ Δ	Tegangan Medan : 198 VDC
Arus : 2,0 / 3,45 A	Tegangan Jangkar : 190 VDC
Daya : 1 HP / 0,75 KW	Frame : 90 B
Rpm : 1380	Tahun : 1994
Frekuensi : 50 Hz	Rpm maks : 1750
Merk : MEZ Mohelnice	



Gambar 3.2 Motor induksi 3 fasa dikopel dengan generator dc

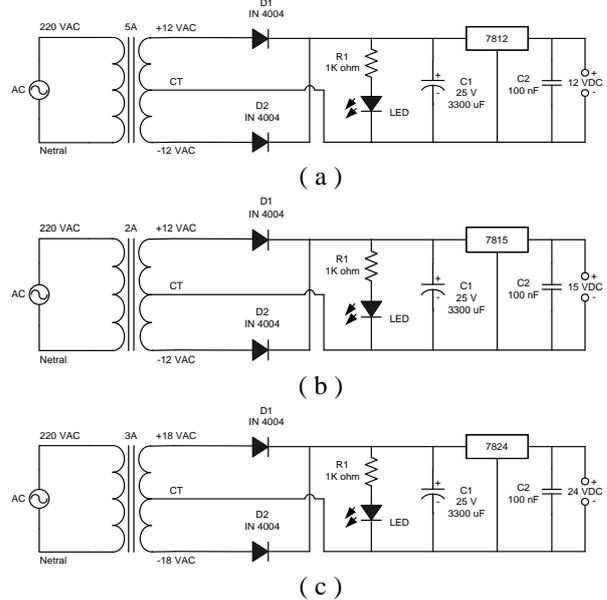
Blok rangkaian kontrol yang telah mengalami proses wiring diperlihatkan gambar 3.3.



Gambar 3.3 Blok sistem rangkaian dengan bagian-bagian yang telah melalui proses wiring

3.1.2 Perancangan Power Supply

Pembuatan *power supply* ini digunakan untuk *supply input* dari PLC, *supply output PLC*, *supply* rangkaian control IC TL494, dan *supply* untuk pendingin rangkaian daya DC *chopper buck converter*.



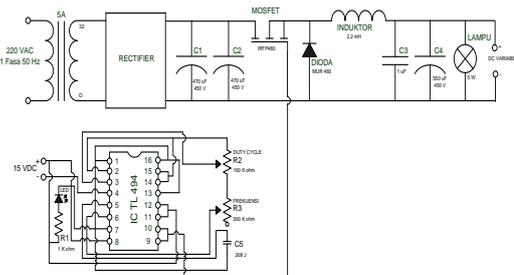
Gambar 3.4 Rangkaian Power Supply

- (a) Rangkaian Power supply 12 V_{DC}
- (b) Rangkaian Power supply 15 V_{DC}
- (c) Rangkaian Power supply 24 V_{DC}

3.1.3 Perancangan DC Chopper Buck Converter

Perancangan *DC-DC converter* berfungsi untuk memberikan variasi suplai tegangan searah ke kontak bantu pengereman untuk pengereman dinamik. Rangkaian *DC - DC converter* menggunakan jenis *buck converter*.

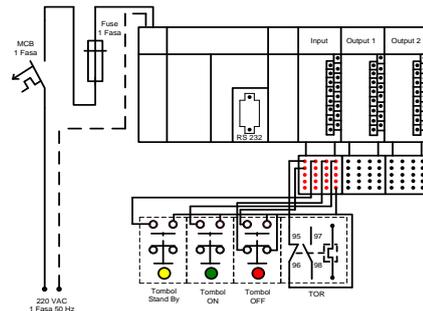
Skema dari rangkaian *buck converter* ini dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3.5 Skema rangkaian buck converter

3.1.4 Perancangan Blok Rangkaian Pengendali

Diagram blok rangkaian pengendali diperlihatkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram pengawatan rangkaian pengendali

4.1.1 Penentuan Waktu Asut Metode DOL Y, DOL Δ dan Y-Δ

Tabel 4.1 Data pengukuran waktu asut metode DOL Y, DOL Δ, dan Y-Δ

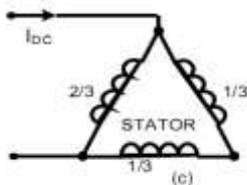
Metode	DOL Y		DOL Δ		Y-Δ	
	I _{starting}	I _{nominal}	I _{starting}	I _{nominal}	I _{starting}	I _{nominal}
Waktu	3,62 A	1,69A	6,3A	2,8A	3,59A	2,8A
	7 detik		8 detik		6 detik	

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa data pengukuran diambil saat motor bekerja yaitu waktu dari I_{starting} motor mencapai I_{nominal} motor. Untuk DOL Y waktu asutnya 7 detik, untuk DOL Δ waktu asutnya 8 detik dan untuk Y-Δ waktu asutnya 6 detik. Dapat disimpulkan bahwa metode Y-Δ memiliki waktu asut yang lebih baik dibandingkan DOL Y dan DOL Δ.

4.2 Pengujian Pengereman Dinamik

Pengereman motor induksi 3 fasa dilakukan dengan metode *dynamic breaking* yaitu dengan menginjeksikan tegangan DC pada belitan stator setelah sumber tegangan AC 3 fasa

Untuk mendapatkan nilai arus injeksi DC dilakukan perhitungan sebagai berikut : (putaran rotor nominal motor (1380 RPM))



Konfigurasi C

$$I_{dc} = \frac{3}{\sqrt{2}} I_{ac}$$

Gambar 4.5 Konfigurasi hubungan belitan stator yang digunakan untuk pengereman dinamik

Dengan nilai arus beban penuh pada motor induksi sebesar 2 A. Maka :

$$I_{dc} = \frac{3}{\sqrt{2}} I_{ac}$$

$$I_{dc} = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot 2A$$

$$I_{dc} = 4,24 A$$

Arus injeksi yang diberikan diusahakan lebih kecil dari arus injeksi normalnya, hal ini dimaksudkan supaya pengereman tidak merusak motor karena arus yang terlalu besar.^[15] Didapatkan nilai arus DC yang diinjeksikan sebesar (4,24 x 0,45)A = 1,908A. Alasan pemilihan arus injeksi DC sebesar 45% karena memiliki torsi dan energi pengereman terbesar dan membutuhkan waktu pengereman paling kecil.

Dari pengukuran dan pengujian yang dilakukan, dapat dibandingkan dan dianalisa antara tanpa dan dengan pengereman dinamik. Perbandingan ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan waktu berhenti motor tanpa dan dengan pengereman dinamik

No	Beban	Waktu Berhenti (detik)	
		Tanpa Pengereman	Dengan Pengereman
1	100 W	3,57	1,57

2	200 W	3,26	1,38
3	300 W	3,09	0,95

Dari tabel 4.2 dapat dibuat grafik perbandingan tanpa dan dengan pengereman dinamik. Grafik perbandingan ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan beban-waktu berhenti tanpa dan dengan pengereman dinamik

Dari tabel 4.2 dan gambar 4.6 dapat dilihat bahwa waktu berhenti tanpa dan dengan pengereman dinamik lebih cepat dengan menggunakan pengereman dinamik. Hal ini dikarenakan sistem pengereman dinamik membuat medan magnetik motor stationer. Keadaan tersebut dilaksanakan dengan menginjeksikan arus DC pada kumparan stator motor induksi tiga fasa setelah hubungan kumparan stator dilepaskan dari sumber tegangan suplai AC. Metode pengereman dinamik (*dynamic braking*) memiliki keuntungan antara lain kemudahan pengaturan kecepatan pengereman terhadap motor induksi tiga fasa. Begitu juga dengan semakin besar bebannya maka waktu berhenti motor lebih cepat.

IV. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem pengasutan dan pengereman motor induksi dengan menggunakan PLC memberikan kemudahan dalam mengoperasikannya.
2. Pengasutan motor induksi dengan metode Y-Δ memiliki arus starting untuk fasa R sebesar 3,53 A, untuk fasa S sebesar 3,62 A dan untuk fasa T sebesar 3,63 A.
3. Waktu pengasutan yang tepat untuk perpindahan dari bintang (Y)–segitiga (Δ) adalah 6 detik.
4. Arus injeksi yang diberikan pada motor induksi 3 fasa 1 HP untuk pengereman dinamik sebesar 1,908 A
5. Waktu berhenti motor untuk beban 100 W, tanpa pengereman sebesar 3,57 detik dan dengan pengereman sebesar 1,57 detik, beban 200 W, tanpa pengereman sebesar 3,26 detik dan dengan pengereman sebesar 1,38 detik, dan untuk beban 300 W, tanpa pengereman sebesar 3,09 detik dan dengan pengereman sebesar 0,95 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, penulis dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. *Controller* PLC yang digunakan pada penelitian ini dapat diganti dengan menggunakan mikrokontroler untuk pengembangan lebih lanjut.

2. Penggunaan motor induksi tiga fasa pada penelitian ini dapat diganti dengan menggunakan jenis motor yang lain, seperti motor sinkron.
3. Penggunaan program bantu *CX Programmer Version 5.0* dapat diganti dengan versi yang terbaru yaitu *CX Programmer Version 9.0*.

Daftar Pustaka

- [1] Anantha B P, M, *Pengereman Dinamik Pada Motor Induksi Tiga Fasa*, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
- [2] *Badan Standarisasi Nasional*, Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL2000), Jakarta, Desember 2000.
- [3] Fakhrizal, Reza, *Aplikasi Programmable Logic Controller (PLC) Pada Pengasutan Dan Proteksi Bintang (Y)-Segitiga (Δ) Motor Induksi Tiga Fasa*, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- [4] Hidayat, Rahmad, *Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa*, <http://pengasutan-motor-induksi-3-fasa.html>, 2011.
- [5] H. Rashid, Muhammad, *Elektronika Daya Edisi Bahasa Indonesia Jilid 1*, PT Prenhallindo, Jakarta, 1999.
- [6] Peni Handayani, dkk, *Teknik Pemeliharaan dan Perbaikan Sistem Elektronika Jilid 1*, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [7] PPPTK, VEDC, *Mesin Listrik*, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [8] Prih Sumardjati, dkk, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 2*, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [9] Prih Sumardjati, dkk, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [10] Siswoyo, TIM, *Teknik Listrik Industri Jilid 2*, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [11] Sugiharto Basuki, Agung, *Soft Starting dan Dynamic Braking pada Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Mikrokontroler AT89S51*, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
- [12] Syahbi Syagata, Anggakara, *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Dc Untuk Proses Powder Coating Secara Elektrostatik*, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [13] Wijatmoko, Anton, *Pengaruh Cara Menggulung Belitan Stator Jenis Spiral dan Lap Winding Pada Unjuk Kerja Motor Induksi Satu Fasa*, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [14] Wildi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems 3rd*, Prentice-Hall International, 1997.
- [15] ---, *Rangkaian Bintang / Star-Delta (Y- Δ) Motor Induksi Tiga Fasa*, <http://www.rangkaian-bintang-star-delta-y-motor.html>, November 2010.
- [16] ---, *Teori Power Supply (Catu Daya) _ Belajar Elektronika*, <http://belajar-elektronika.com>, 2012.