

## VISUALISASI PENGASUTAN MOTOR INDUKSI TIGA FASE BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL

### *Visualization of Starting Three Phase Induction Motors Based Programmable Logic Control*

Sultan<sup>1</sup>, Agung Budi Muljono<sup>2</sup>, I Made Ari Nrartha<sup>3</sup>

---

#### ABSTRAK

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC. Motor induksi tiga fase kapasitas besar membawa permasalahan pada sistem dan peralatan yang terhubung ke sistem listrik atau pada motor itu sendiri, yaitu saat motor induksi tersebut diasut. Arus pengasutan motor induksi bisa mencapai 6-7 kali arus nominal motor (arus beban penuh motor) yang dapat menyebabkan drop tegangan yang besar pada sistem bahkan bisa tidak bekerjanya motor induksi yang diasut. Metoda pengasutan dibutuhkan untuk mengurangi arus asut yang tinggi seperti metoda Y/ $\Delta$ .

Perkembangan metoda kontrol pada industri seperti PLC (Programmable Logic Control), membuat penggunaan pengawatan pada metoda pengasutan motor induksi lebih sedikit dan kalau ada kesalahan fungsi dapat diketahui secara cepat serta dapat dipantau fungsi kerja masing-masing peralatan. Penggunaan PLC dapat mengurangi ukuran panel yang digunakan dan rangkaian lebih sederhana. Kondisi ini menyebabkan industri-industri besar beralih menggunakan PLC untuk semua keperluan pengasutan motor dan kontrol-kontrol peralatannya.

Penelitian ini berhasil membuat sebuah modul yang dapat digunakan untuk pengasutan motor induksi tiga fase berbasis PLC. Kontrol PLC pada pengasutan motor induksi tiga fase pada penelitian ini memerlukan rangkaian kabel yang lebih sedikit dari pada kontrol konvensional, kepresisian waktu dan hasil kontrol yang lebih pasti dengan kesalahan kontrol yang lebih kecil.

**Kata Kunci :** Pengasutan, Motor Induksi, Star-Delta, PLC

---

#### ABSTRACT

Induction motors are the most common motor used in a variety of industrial equipment. Its popularity is due to the design, which is simple, inexpensive and readily available, and can be directly connected to an AC power source. Three-phase induction motors bringing huge capacity problems in the system and the equipment connected to the electrical system or the motor itself, when the induction motor is started. Starting current induction motor can reach 6-7 times the nominal current of the motor (the motor full load current) which can cause a large voltage drop on the system could even be no operation of the induction motor is started. The starting method is needed to reduce the high starting current such as Y/ $\Delta$  method.

The development of control methods in the industry such as PLC (Programmable Logic Control), making use of the method of wiring the starting of induction motors less and if there is a malfunction can be known quickly and can monitor the function of each piece of equipment. The use of PLC can reduce the size of the panels used and a simpler circuit. This condition causes major industries switch to using PLC for all purposes starting of motors and controls equipment.

This study managed to create a module that can be used for the starting of three-phase induction motors based on PLC. PLC control at the starting of three-phase induction motors in this study requires a series of wires less than the conventional control, precision timing and results more exact control with a smaller control error.

**Keywords:** Starting, Induction Motor, Star-Delta, PLC

---

#### PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung

disambungkan ke sumber daya AC. Motor induksi memiliki dua komponen listrik utama yaitu rotor dan stator. Motor induksi menggunakan dua jenis rotor, rotor kandang tupai terdiri dari batang penghantar tebal yang dilekatkan dalam petak-petak slots paralel.

---

<sup>1</sup>.Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Batang-batang tersebut diberi hubungan pendek pada kedua ujungnya dengan alat cincin hubungan pendek. Rotor jenis gulungan, rotor jenis ini memiliki lingkaran rotor yang memiliki gulungan tiga fase, lapisan ganda dan terdistribusi, dibuat melingkar sebanyak kutub stator dan digulungi kawat pada bagian dalamnya dan ujung yang lainnya dihubungkan ke cincin kecil yang dipasang pada batang as dengan sikat yang menempel padanya. Stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub yang tertentu. Gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat.

Motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu: motor induksi satu fase dan motor induksi tiga fase. Motor induksi satu fase hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesincuci dan pengering pakaian, untuk penggunaan daya hingga 3 sampai 4 Hp. Motor induksi tiga fase, tidak membutuhkan peralatan bantu untuk berputar. Medan putar dapat diperoleh dari medan magnet berputar yang dihasilkan oleh sumber tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi sehingga dibutuhkan metoda pengasutan untuk mengurangi arus mula motor dan menghindari jatuh tegangan sistem saat motor tersebut diasut. Hampir 70% motor di industri menggunakan motor induksi tiga fase, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, jaringan listrik, dan grinder. Tersedia

Penggunaan motor induksi tiga fase yang luas mendorong Laboratorium Sistem Tenaga Listrik yang merupakan salah satu laboratorium di bawah program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram mempersiapkan mahasiswa untuk memahami motor induksi tiga fase salah satunya mengenai metoda-metoda pengasutan motor induksi tiga fase. Saat ini Laboratorium Sistem Tenaga sudah memiliki modul-modul praktikum untuk metoda-metoda pengasutan motor induksi tiga fase tersebut dan sudah menjadi bagian dari praktikum mesin-mesin listrik yang ditawarkan pada semester enam untuk mahasiswa elektro konsentrasi Sistem Tenaga.

Pengasutan motor induksi tiga fase pada modul praktikum pada Laboratorium Sistem Tenaga menggunakan media kontaktor sebagai rele sekaligus pengaman untuk proses pengasutan motor induksi tiga fase. Besar arus pengasutan yang dihasilkan dapat dilihat secara visual dari hasil penelitian sebelumnya (Sultan, dkk, 2014). Rancangan interface untuk visualisasi besar arus pengasutan pada penelitian tersebut dapat memberikan gambaran kepada mahasiswa khususnya praktikan pada besar magnitude arus asut asut yang besarnya bisa tujuh kali nominal untuk metoda DOL (*Direct On Line*), dan dua setengah kali dari arus nominal untuk pengasutan metoda *star/delta*.

Perkembangan metoda kontrol pada industri seperti PLC (*Programmable Logic Control*), membuat penggunaan pengawatan pada metoda pengasutan motor induksi lebih sedikit dan kalau ada kesalahan fungsi dapat diketahui secara cepat serta dapat dipantau fungsi kerja masing-masing peralatan. Penggunaan PLC dapat mengurangi ukuran panel yang digunakan dan rangkaian lebih sederhana. Kondisi ini menyebabkan industri-industri besar beralih menggunakan PLC untuk semua keperluan pengasutan motor dan kontrol-kontrol peralatannya.

PLC merupakan sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didisain untuk pemakaian di lingkungan industri, sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O digital maupun analog. Dengan begitu banyak fungsi PLC tersebut penggunaan PLC pada sektor industri begitu luas, salah satunya sebagai kontrol untuk pengasutan motor induksi tiga fase. Penggunaan PLC dapat menggantikan sistem pengkabelan yang masih dipergunakan pada sistem sebelumnya sehingga dapat mengurangi luas panel kontrol yang dibutuhkan. Disamping itu banyak kelebihan lain yang ditawarkan oleh PLC seperti sistem yang dapat diprogram kembali.

Penelitian-penelitian pengaturan motor induksi tiga fase sudah banyak dilakukan baik untuk pengaturan kecepatan maupun untuk cara pengasutan dan rancangan pengasutan motor.

Beberapa penelitian pengaturan kecepatan motor induksi yang telah dilakukan antara lain oleh Brian heber, Longya Xu dan

Yifan Tang (1997) menggunakan controller logika fuzzy untuk memperbaiki performansi controller PID pada pengaturan kecepatan motor induksi. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Mohammed, dkk (2014) mengembangkan controller fuzzy MRAS dan pendekatan backstepping dan masih banyak lagi penelitian lainnya. Penelitian-penelitian tersebut lebih banyak untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fase.

Penelitian pengasutan motor induksi berbasis PLC dan impiemetasinya sudah dilakukan untuk motor induksi satu fase, Pinem, 2011. Hasil penelitian ini dipergunakan pada Laboratorium Konversi Energi, Teknik Elektro, Universitas Sumatra Utara.

Usulan penelitian ini menggunakan motor induksi tiga fase dengan konsep yang sama seperti penelitian pinem, 2011 dan merupakan pengembangan dari modul pengasutan motor induksi tiga fase yang sudah ada pada Laboratorium Sistem Tenaga, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Univeritas Mataram. Metoda asut yang akan dirancang pada motor induksi tiga fase berbasis PLC adalah metoda DOL dan STAR/DELTA.

**Motor Induksi Tiga Fase.** Motor induksi tiga fase merupakan motor elektrik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Salah satu kelemahan motor induksi yaitu memiliki beberapa karakteristik parameter yang tidak linier, terutama resistansi rotor yang memiliki nilai yang bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda, sehingga tidak dapat mempertahankan kecepatannya secara konstan bila terjadi perubahan beban.

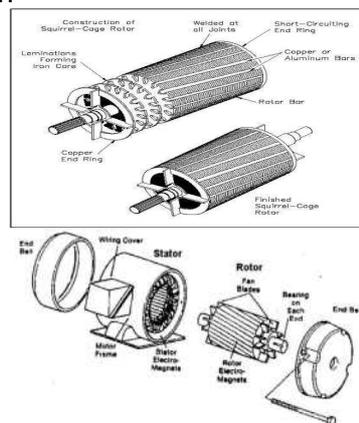
Motor induksi tiga fase adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda. Hal ini yang menyebabkan pengaturan pada motor induksi lebih rumit dibandingkan dengan motor DC.

Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (ac) yang paling luas penggunaannya. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi

merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

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 sesuai dengan Hukum Lentz, rotor pun akan ikut berputar mengikuti medan putar stator.

Perbedaan putaran relative antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Dikenal dua tipe motor induksi yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan rotor sangkar.

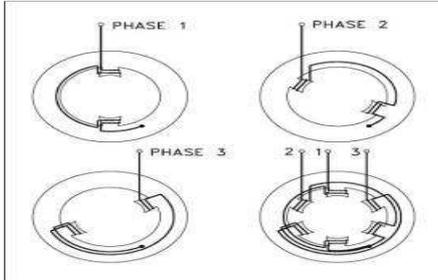


Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi Tiga Fase

Belitan stator terhubung wye (Y). Dua belitan pada masing-masing fasa dililitkan dalam arah yang sama. Sepanjang waktu, medan magnet yang dihasilkan oleh setiap fasa akan tergantung kepada arus yang mengalir melalui fase tersebut. Jika arus listrik yang melalui fase tersebut adalah nol, maka medan magnet yang dihasilkan akan nol pula. Jika arus mengalir dengan harga maksimum, maka medan magnet berada pada harga maksimum pula. Karena arus yang mengalir pada sistem tiga fase mempunyai perbedaan  $120^\circ$ , maka medan magnet yang dihasilkan juga akan mempunyai perbedaan sudut sebesar  $120^\circ$  pula.

Ketiga medan magnet yang dihasilkan akan membentuk satu medan, yang akan

beraksi terhadap rotor. Untuk motor induksi, sebuah medan magnet diinduksikan kepada rotor sesuai dengan polaritas medan magnet pada stator. Karenanya, begitu medan magnet stator berputar, maka rotor juga berputar agar bersesuaian dengan medan magnet stator.



Gambar 2. Medan Putar yang Dihasilkan Sumber Tiga Fase

Sepanjang waktu, medan magnet dari masing-masing fase bergabung untuk menghasilkan medan magnet yang posisinya bergeser hingga beberapa derajat. Pada akhir satu siklus arus bolak balik, medan magnet tersebut telah bergeser hingga  $360^\circ$ , atau satu putaran. Dan karena rotor juga mempunyai medan magnet berlawanan arah yang diinduksikan kepadanya, rotor juga akan berputar hingga satu putaran.

**Pengasutan Motor Induksi Tiga Fase.**

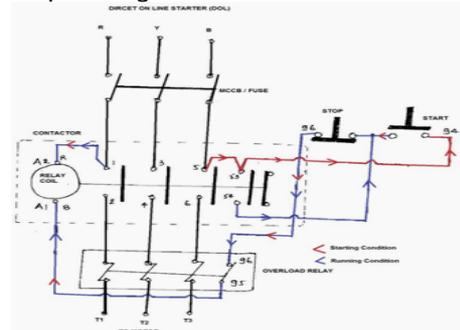
Pengasutan motor atau lebih dikenal dengan istilah motor starting, ketika motor dijalankan, pada saat gerak (starting) arus asutnya sangat tinggi. Nilainya hingga 600% atau bahkan lebih terhadap arus beban penuh (nominal). Arus asut yang sedemikian besar ini merupakan penyebab beberapa gangguan, antara lain sebagai berikut:

1. Tegangan pada sisi penyulang akan susut (drop) tiba-tiba, walau sesaat selama periode starting, hal ini akan berpengaruh terhadap kinerja mesin-mesin atau peralatan listrik lainnya. Jika susut tegangan ini relatif besar, dapat menggagalkan starting motor. Karena itu, kapasitas catu daya minimum harus cukup untuk menanggung arus asut.
2. Nilai arus asut yang tinggi ini, juga akan membangkitkan torsi asut yang tinggi pula, sehingga pada mesin-mesin tertentu, misal mesin kompresor torak, akan berpengaruh jelek, terutama pada kopling atau bantalan.

Gangguan-gangguan tersebut akan berpengaruh sangat jelek sekali terhadap sistem, termasuk penyediaan catu daya, penyediaan suku cadang, dan sebagainya.

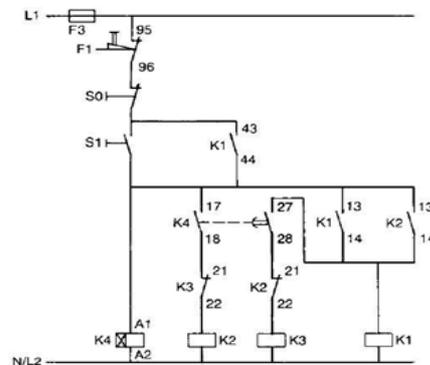
Karena hal tersebut, maka dibuat metode atau cara pengasutan motor induksi tiga fase, terutama untuk motor rotor sangkar (*Squirrel cage rotor*). Metode-metode pengasutan yang banyak digunakan antara lain sebagai berikut (www.serbaelektro.com, 2016) :

- 1 Metode pengasutan pada jala-jala (*DOL-starting metode*), pengasutan ini digunakan untuk motor dengan daya poros sampai dengan 4 kW.



Gambar 3. Rangkaian Kontakor Pengasutan Motor Induksi Tiga Fase DOL

- 2 Metode pengasutan bintang-segitiga (*star-delta starting metode*), pengasutan ini digunakan untuk motor dengan daya poros 5,5 kW atau lebih (sesuai kebutuhan).



Gambar 4. Rangkaian Kontakor Pengasutan Motor Induksi Tiga Fase Y/Δ

Keterangan:

- S0 = 'OFF' Push button
  - S1 = 'ON' Push button
  - K1 = Line contactor
  - K2 = Star contactor
  - K3 = Delta contactor
  - K4 = Star delta timer (7PU60 20)
  - F2 = Overload relay
  - F1 = Backup fuse
  - F3 = Control circuit fuse
- 3 Metode pengasutan ototransformator (*autotransformer starting metode*), pengasutan ini digunakan untuk motor dengan daya poros yang besar, atau

mesin-mesin yang tidak dapat diasut dengan metode bintang segitiga.

- 4 Metode pengasutan tegangan terkontrol (*soft starting metode*), pengasutan ini digunakan untuk motor dengan daya poros yang besar, atau mesin-mesin yang tidak dapat diasut dengan metode bintang segitiga, dengan pertimbangan ukuran panel kontrol dan ruang atau tempat yang diperlukan.

Masih ada lagi beberapa metode pengasutan motor induksi rotor sangkar, seperti pengasutan dengan tahanan, dengan reaktor, dan sebagainya. Tetapi metode-metode ini jarang digunakan, karena switching-nya tidak sederhana, dan komponen yang digunakan hampir tidak dapat diperoleh secara bebas.

**Programmable Logic Control.** Program Logic Controller atau yang sebut dengan PLC merupakan suatu bentuk khusus pengontrol berbasis-mikroprosesor yang memanfaatkan memori yang dapat di program untuk menyimpan instruksi-instruksi dan mengimplementasikan fungsi-fungsi semisal logika, berurutan (*sequencing*), pewaktuan (*timing*), pencacahan dan aritmetika guna mengontrol mesin-mesin dan proses-proses, dan di rancang untuk di operasikan oleh para insinyur yang memiliki pengetahuan mengenai komputer dan bahasa pemrograman. Piranti ini dirancang sedemikian rupa agar tidak hanya para programmer komputer saja yang dapat membuat dan mengubah program-programnya. Oleh karena itu, para perancang PLC telah menempatkan sebuah program awal di dalam piranti ini (*pre-program*) yang memungkinkan program-program kontrol dimasukkan dengan menggunakan suatu bentuk bahasa pemrograman yang sederhana dan mudah di mengerti. Istilah logika (*logic*) dipergunakan karena pemrograman yang harus dilakukan sebagian besar berkaitan dengan pengimplementasian operasi-operasi logika dan penyambungan (*switching*).

PLC memiliki beberapa keunggulan, ini karena sebuah perangkat pengontrol yang sama dapat dipergunakan di dalam beraneka ragam sistem kontrol. Untuk memodifikasi sebuah sistem kontrol dan aturan-aturan pengontrolan yang di jalankannya, yang harus dilakukan oleh seorang operator hanyalah memasukkan seperangkat instruksi yang berbeda dari yang digunakan sebelumnya. Penggantian rangkaian kontrol

tidak perlu dilakukan. Hasilnya adalah sebuah perangkat yang fleksibel dan hemat biaya yang dapat dipergunakan dalam sistem-sistem kontrol yang sifat dan kompleksitasnya sangat beragam.

Beberapa kelebihan PLC jika dibandingkan dengan sistem kontrol proses konvensional, antara lain (Pinem, 2011) :

1. Dibandingkan dengan sistem kontrol proses konvensional, jumlah kabel yang dibutuhkan bisa berkurang didalam wiring-nya.
2. PLC mengkonsumsi daya lebih rendah dibandingkan dengan sistem kontrol proses konvensional (berbasis relay).
3. Fungsi diagnostik pada sebuah kontroler PLC memberikan pendeteksian kesalahan yang mudah dan cepat.
4. Perubahan pada urutan operasional atau proses atau aplikasi dapat dilakukan dengan mudah, hanya dengan melakukan perubahan atau penggantian program, baik melalui terminal konsol maupun komputer PC.
5. Tidak membutuhkan spare part yang banyak, perangkat kontroler sederhana.
6. Lebih mudah dibandingkan dengan sistem konvensional, khususnya dalam kasus penggunaan instrument I/O yang cukup banyak dan fungsi operasional prosesnya cukup kompleks.
7. Ketahanan PLC jauh lebih baik dibandingkan dengan relay auto-mekanik.
8. Dokumentasi gambar sistem lebih sederhana dan mudah dimengerti.
9. Standarisasi sistem kontrol lebih mudah diterapkan.
10. Pemrograman yang ampuh dan disimpan didalam memori
11. Aplikasi yang universal karena suatu program ditentukan oleh fungsi yang tersedia.
12. Commissioning dan trouble shooting lebih mudah dengan menggunakan fungsi yang tersedia.
13. Programnya dapat menggunakan teks dan grafik.
14. Dapat menerima kondisi lingkungan yang berat.
15. Produksi yang relatif besar.

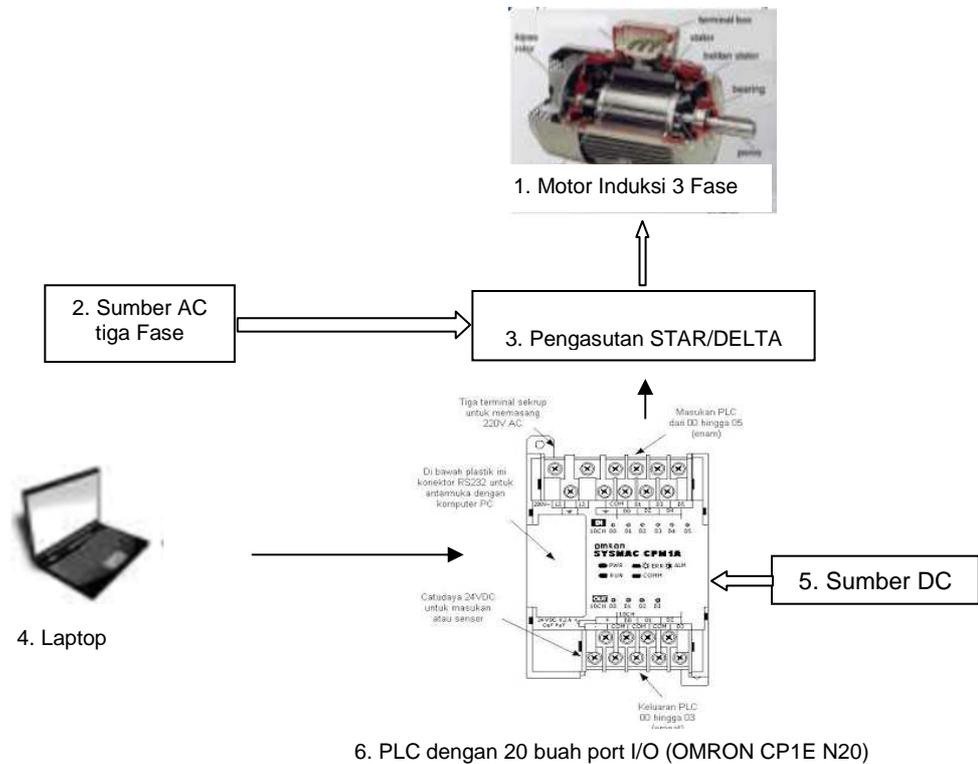
Sedangkan kelemahan sistem dengan penggunaan PLC adalah biaya investasi awal lebih mahal dibandingkan dengan sistem kontrol konvensional (penggunaan kontaktor dan saklar).

**METODE PENELITIAN**

Penelitian Pengasutan Motor Induksi Tiga Fase (MITF) Berbasis Programmable **Rancangan Pengasutan MITF berbasis PLC**

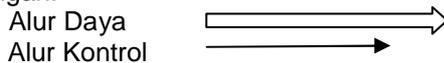
Pengasutan MITF berbasis PLC ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Logic Control (PLC) dapat dilihat pada gambar alur dari perancangan yang ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini



Gambar 5. Pengasutan MITF berbasis PLC

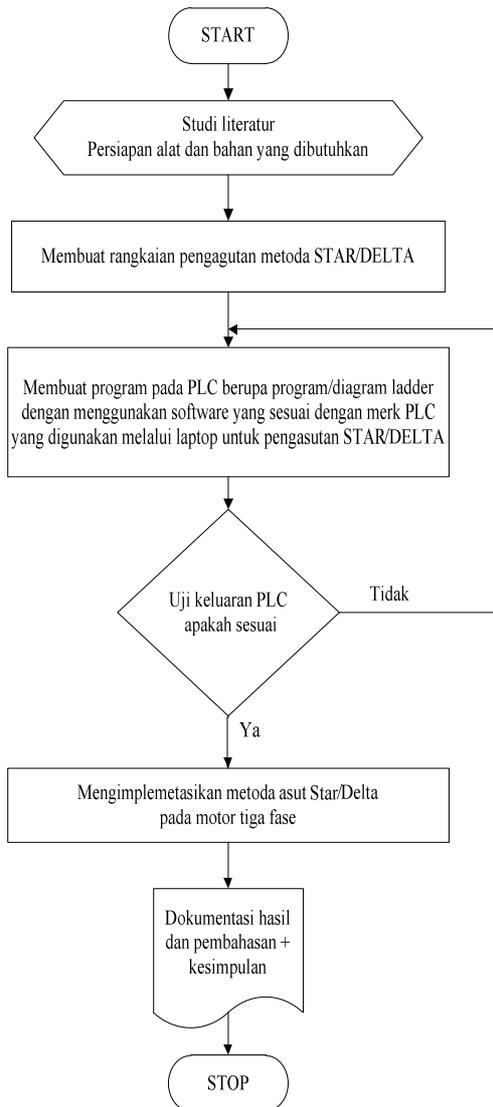
Keterangan:



1. Motor AC Tiga Fase merupakan motor yang akan diasut.
2. Sumber AC tiga fase digunakan sebagai suplai utama motor induksi tiga fase.
3. Pengasutan STAR/DELTA adalah rangkaian asut STAR/DELTA dari motor induksi tiga fase.
4. Laptop untuk pemrograman pada PLC dengan program/diagram ladder.
5. Sumber DC digunakan untuk suplai daya PLC dan mengaktifkan input dari PLC.
6. PLC dengan 20 buah port I/O (OMRON CP1E N20) untuk modul PLC pengasutan motor induksi tiga fase

**Langkah Penelitian.** Pengasutan MITF berbasis PLC diusulkan seperti pada Gambar 6 berikut

1. Uji coba fungsi kerja keluaran PLC untuk pengasutan berdasarkan program/diagram ladder yang telah dibuat.
2. Mengimplemetasikan metoda-metoda asut motor yang telah dibuat pada motor induksi tiga fase.
3. Membuat pembahasan dan analisis tahapan pengasutan motor induksi tiga fase berbasis PLC.
4. Membuat kesimpulan dari pembahasan hasil penelitian.



Gambar 6. Bagan Alir Metode Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Validasi Sensor pada Interfase Visualisasi.

Untuk mendapatkan pembacaan sensor yang valid diperlukan kalibrasi sensor-sensor pada interface. Interface yang digunakan adalah interface visualisasi hasil penelitian sebelumnya (Sultan, 2014).

**Kalibrasi Sensor Tegangan.** Kalibrasi sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan tegangan input sensor dengan tegangan keluaran sensor. Sensor tegangan terdiri dari transformator satu fase dengan center tap kapasitas 5 Ampere, dan rangkaian pembagi tegangan pada sekender transformator yang terdiri dari kombinasi tahanan.

Hasil perbandingan input/output sensor ditampilkan pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Sensor Tegangan

No	Tegangan AC (V)	Tegangan DC (V)
1	0	0
2	40	0.41
3	80	0.84
4	120	1.31
5	160	1.74
6	200	2.21
7	240	2.70

Berdasarkan hasil pengukuran input/output sensor tegangan berdasarkan Tabel 1. dibuatkan pendekatan persamaan linear untuk dipergunakan dalam pemrograman pada Arduino untuk visualisasi hasil pengukuran. Persamaan linear dapat dibuat dengan fungsi "polyfit" pada MATLAB dengan data hasil pengukuran input output pada Tabel 1. Berikut adalah program untuk pembuatan fungsi linear sensor tegangan.

```

ac = [0 40 80 120 160 200 240];
dc = [0 0.41 0.84 1.31 1.74 2.21 2.70];
p = polyfit(ac,dc,1)
p = 0.0113 - 0.0343
(a = 0.0113 dan b = -0.0343)
    
```

Hasil dari program fungsi linear sensor tegangan dapat dituliskan dalam persamaan linear berikut:

$$Y = Ax + b$$

$$\text{Tegangan} = \frac{\frac{b*5}{1023} + 0.0343}{0.0113}$$

Persamaan linear yang diperoleh dipergunakan pada pemrograman di Arduino. Listring program untuk pembacaan sensor tegangan pada arduino adalah sebagai berikut:

```

//inisialisasi variabel tegangan
float SensorValue;
float SensorValue1;
float Tegangan;

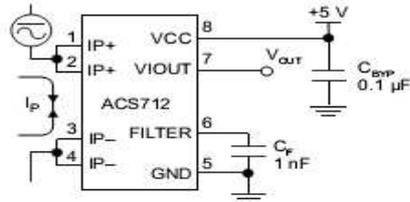
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize serial communication at 9600 bits per second:
  Serial.begin(38400);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  // read the input on analog pin 0:
  SensorValue = analogRead(A1);
  SensorValue1 = SensorValue*5/1023;
  Tegangan = (SensorValue1+0.0343)/0.0113;

  // print out the value you read:
  Serial.println(Tegangan);

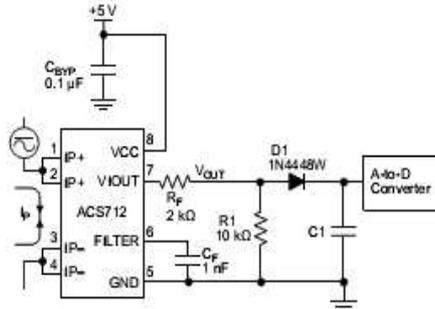
  delay(2000); // delay in between reads for stability
    
```

**Kalibrasi Sensor Arus.** Kalibrasi sensor arus dilakukan dengan membandingkan arus input sensor dengan tegangan keluaran sensor. Rangkaian sensor arus menggunakan IC ACS712 sebagai komponen utamanya. ACS712 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 7. ACS712 Sebagai Sensor Arus.

Supaya ACS712 bisa digunakan sebagai sensor arus maka Vout pada kaki 7 harus diberikan perbandingan tahanan tertentu sehingga hasil keluaran Vout berupa tegangan. Tegangan ini dapat diteruskan pembacaannya lewat PortIn analog dari Arduino. Rangkaian lengkap sensor arus menggunakan ACS712 dapat dilihat pada Gambar 4.2. berikut:



Gambar 8. Rangkaian Sensor Arus dengan ACS712

Hasil pengujian sensor arus melalui arus masukan pada pin 1/2 dan arus keluar dari pin 3/4 dapat ditabelkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Arus

No	AC Input (A)	DC Ouput (V)
1	0	2.07
2	0.4	2.12
3	0.6	2.15
4	0.8	2.19
5	1.0	2.23
6	1.2	2.26
7	1.4	2.29
8	1.6	2.33
9	1.8	2.37
10	2.0	2.41
11	2.2	2.45
12	2.4	2.49
13	2.6	2.53
14	2.8	2.58
15	3.0	2.62

Berdasarkan hasil pengukuran input/ouput sensor arus berdasarkan Tabel 2. dibuatkan pendekatan persamaan linear untuk dipergunakan dalam pemrograman pada Arduino untuk visualisasi hasil pengukuran. Persamaan linear dapat dibuat dengan fungsi “polyfit” pada MATLAB dengan data hasil pengukuran input output pada Tabel 2. Berikut adalah program untuk pembuatan fungsi linear sensor arus.

```
ArusAC = [0 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2.2 2.4 2.6 2.8 3];
TeganganDC = [2.07 2.12 2.15 2.19 2.23 2.26 2.29 2.33 2.37 2.41 2.45 2.49 2.53 2.58 2.62];
p = polyfit(ArusAC,TeganganDC,1)
p = 0.1868 2.0429
(a = 0.1863 dan b = 2.0429)
```

Hasil dari program fungsi linear sensor arus dapat dituliskan dalam persamaan linear berikut:

$$Y = Ax + b$$

$$\text{Tegangan} = \frac{b \times 5}{1023} + 0.0343$$

$$0.0113$$

Persamaan linear yang diperoleh dipergunakan pada pemrograman di Arduino. Listring program untuk pembacaan sensor arus pada arduino adalah sebagai berikut:

```
//Inisialisasi variabel Arus
float SensorValue;
float SensorValue1;
float arus;
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
// initialize serial communication at 9600 bits per second:
Serial.begin(38400);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
// read the input on analog pin 0:
SensorValue = analogRead(A2);
SensorValue1 = SensorValue*5/1023;
//SensorValue1 = sensorValue*5/1023;
// print out the value you read:
arus = (SensorValue1-2.0429)/0.1868;
Serial.println(arus);
delay(2000); // delay in between reads for stability
}
```

**Kalibrasi Sensor Kecepatan.** Kalibrasi sensor kecepatan dilakukan dengan membandingkan input kecepatan (rpm) tachogenerator dengan tegangan DC dari tachogenerator. Hasil pengukuran pada tachogenerator ditabelkan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengukuran input/ouput sensor tachogenerator berdasarkan Tabel 3. dibuatkan pendekatan persamaan linear untuk dipergunakan dalam pemrograman pada Arduino untuk visualisasi hasil pengukuran.

Tabel 3. Hasil Input/Output Tachogenerator

No	Kecepatan Motor (Rpm)	Tegangan Tachogenerator (Volt DC)
1	480	0.483
2	608	0.612
3	808	0.813
4	1004	1.010
5	1215	1.227
6	1412	1.424
7	1615	1.629

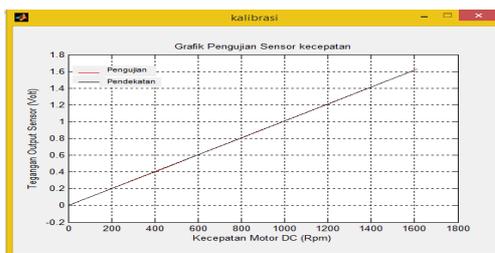
Persamaan linear dapat dibuat dengan fungsi "polyfit" pada MATLAB dengan data hasil pengukuran input output pada Tabel 3. Berikut adalah program untuk pembuatan fungsi linear sensor arus.

```
kec = [480 608 808 1004 1215 1412 1615];
teg = [0.483 0.612 0.813 1.010 1.227 1.424 1.629];
q = polyfit(kec,teg,1)
q = 0.0010104 -0.0026
```

Hasil dari program fungsi linear sensor kecepatan dapat dituliskan dalam persamaan linear berikut:

$$V_{\text{tachogenerator}} = 0.0010104 * \text{Kecepatan}_{\text{tachogenerator}} - 0.0026 \text{ Volt}$$

Persamaan linear yang diperoleh dipergunakan pada pemrograman di Arduino. Gambar 9. menunjukkan hubungan input/output dari sensor kecepatan.



Gambar 9. Grafik Pengujian Sensor Kecepatan

**Pembuatan Program MATLAB untuk Interface Visualisasi.** Program MATLAB dibuat berupa fungsi utama dan fungsi pendukung. Fungsi utama adalah program pembacaan serial dari arduino untuk mendapatkan data online dari sensor tegangan, sensor arus dan sensor kecepatan Motor Induksi Tiga Fase (MITF). Fungsi pendukung adalah program (GUI) untuk menampilkan hasil pembacaan secara online sehingga hasil transien dari starting motor dapat ditampilkan.

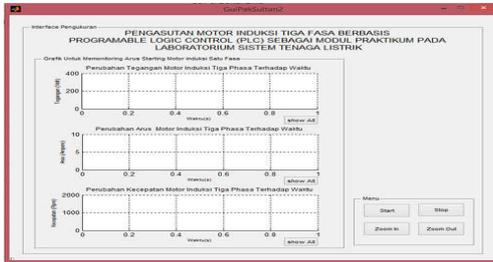
Program pembacaan serial dari arduino pada MATLAB dapat dituliskan sebagai berikut:

```
delete(instrfind({'Port'},{'COM3'}));
arduino = serial('COM3');
set(arduino,'Baudrate',115200);
fopen(arduino);
" "
" "
" "
" "
fclose(arduino);
```

Program MATLAB untuk menampilkan secara online hasil pembacaan dari serial Arduino sebagai berikut:

```
%membuat output seperti osciloscop
if ( i == 350)
if(m <=2)
x1 = 0; x2 = m;
elseif(waktu>= 0.3)
x2 = waktu;
x1 = x2 -0.3;
end
i=0;
axes(handles.axes1);
%Membuat grafik Axes2
y1 = 0;y2 = 400;
plot(WAKTU, tegangan, 'magenta');
judul = 'Perubahan Tegangan Motor Induksi Tiga Fase Terhadap Waktu';
set(gca,'Title',text('String',judul,'Color','black','FontSize',9))
set(get(gca,'XLabel'),'String','Waktu(s)','FontSize',7)
set(gca,'XLim',[x1 x2])
set(get(gca,'YLabel'),'String','Tegangan (Volt)','FontSize',7)
%set(gca,'YLim',[y1 y2])
grid on
axes(handles.axes2)
%Membuat grafik Axes2
y1 = 0;y2 = 10;
plot(WAKTU, arusM, 'black');
judul = 'Perubahan Arus Motor Induksi Tiga Fase Terhadap Waktu';
set(gca,'Title',text('String',judul,'Color','black','FontSize',9))
set(get(gca,'XLabel'),'String','Waktu(s)','FontSize',7)
set(gca,'XLim',[x1 x2])
set(get(gca,'YLabel'),'String','Arus (Ampere)','FontSize',7)
%set(gca,'YLim',[y1 y2])
grid on
%end Axes2
axes(handles.axes3)
%Membuat grafik Axes3
y1 = 0;y2 = 2000;
plot(WAKTU, kecepatan, 'blue');
judul = 'Perubahan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase Terhadap Waktu';
set(gca,'Title',text('String',judul,'Color','black','FontSize',9))
set(get(gca,'XLabel'),'String','Waktu(s)','FontSize',7)
set(gca,'XLim',[x1 x2])
set(get(gca,'YLabel'),'String','Kecepatan (Rpm)','FontSize',7)
%set(gca,'YLim',[y1 y2])
grid on
%end Axes3
pause(01);
end
```

Hasil program GUI untuk pembacaan interface ditampilkan pada Gambar 10. berikut:

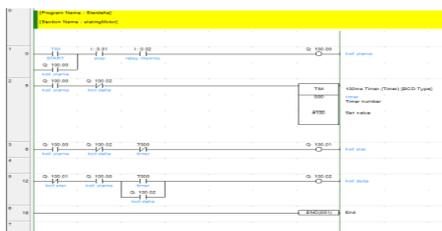


Gambar 10 Program GUI untuk Interface Pengukuran Online pada MATLAB

**Pembuatan Program Ladder untuk Kontrol Starting Motor.** Rancangan program pada PLC untuk mengontrol urutan starting motor pada saat starting metoda Star/Delta pada pengasutan MITF dibutuhkan kombinasi NO/NC (Normally Open/Normally Close) yang dapat dibangun menggunakan diagram ladder. Diagram ladder adalah diagram kontrol urutan penyalan fungsi keluaran berdasarkan input yang diberikan. Kelebihan dari penggunaan PLC pada sistem pengontrolan adalah berkurangnya penggunaan wiring/kabel untuk rangkaian kontrol dan memberikan kemungkinan kesalahan dalam rangkaian kontrol.

Program CX programmer digunakan untuk membuat diagram ladder pada penelitian ini karena PLC yang digunakan pada penelitian ini adalah PLC OMRON tipe CP1E N20, PLC tipe ini memiliki 20 I/O, (11 input dan 9 output). Sumber 24 volt DC dibutuhkan untuk mengoperasikan input dan sumber 24 volt DC atau 220 V AC untuk output. Pemilihan sumber DC atau AC pada output tergantung dari jenis peralatan yang mau dikontrol. Pada starting motor dibutuhkan sumber AC 220 Volt untuk mengaktifkan kontaktor sehingga pada penelitian ini untuk output digunakan sumber 220 Volt AC.

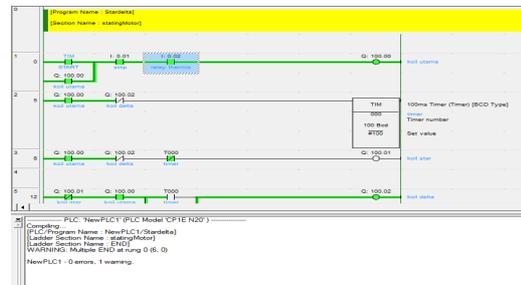
Diagram ladder untuk starting Star/Delta pada program CX Programmer dapat dilihat pada Gambar 4.5. berikut:



Gambar 11. Diagram Ladder untuk Starting Y/Δ

MITF

Sebelum program deagram ladder ini di download ke PLC terlebih dahulu diuji secara offline fungsi kerja kontrol dari diagram ladder. Hasil pengujian secara offline ditunjukkan pada Gambar 12. berikut:



Gambar 12. Pengujian Diagram Ladder Secara Offline Untuk Memastikan Tidak Terjadi Kesalahan

Setelah diperoleh tidak ada kesalahan dalam aliran program maka berikutnya program diagram ladder dapat didownload ke PLC. Download diagram ladder dapat dilakukan setelah dilakukan sinkronisasi antara software CX Programmer dengan PLC Omron CP1E N20. Apabila download sudah berhasil proses kontrol dapat dimonitor secara online pada Komputer baik untuk fungsi kerja PLC dan hasil pengukuran Interface.

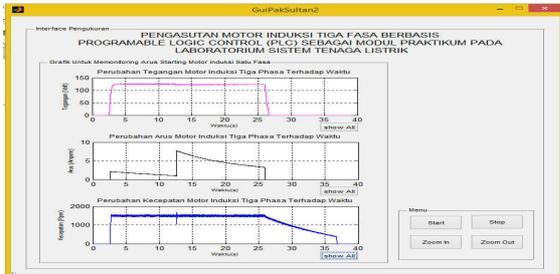
**Implemetasi Starting MITF dan Hasil-hasil Pengukuran.**

Hasil-hasil pengukuran tegangan, arus dan kecepatan MITF berdasarkan starting metoda Star/Delta dengan seting waktu perubahan hubung Star ke hubung Delta selama 10 detik. Motor Induksi Tiga Fase yang digunakan yaitu motor induksi 1 kW yang berada di laboratorium Sistem Tenaga. Motor distart dengan tanpa beban dan berbeban untuk melihat respon tegangan arus dan kecepatan sesaat setelah distart sampai beroperasi dalam kondisi steady state. Nilai yang diamati adalah perubahan starting dari star ke delta.

Hasil pengamatan untuk MITF yang distart dengan metoda Star/Delta hasil pengukuran interface visualisasi ditampilkan pada Gambar 4.7. untuk motor induksi tiga fase tanpa beban.

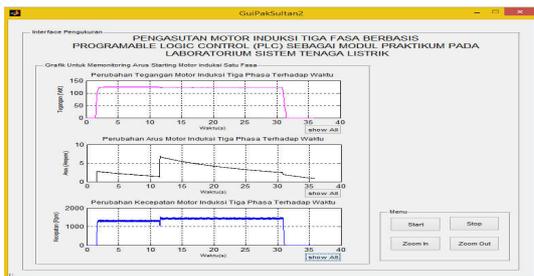
Gambar 13. menunjukkan pada MITF tanpa beban starting motor metoda Y/Δ, tegangan motor relatif sama saat start sampai motor distop. Arus starting motor hubung Y cukup kecil bahkan lebih kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere (pada nameplate motor). Saat perubahan saklar dari motor hubung Y ke hubung Δ arus motor

tidak sampai dua kali arus nominal, hanya 1,5 kali dari arus nominal motor. Kecepatan motor setelah dimatikan berkurang secara perlahan, hal ini karena motor belum dibebani, sehingga tidak ada pengeriman yang cukup signifikan.



Gambar 13. Hasil Pengamatan Starting Metoda Y/Δ MITF Tanpa Beban.

Hasil pengamatan untuk MITF yang distart dengan metoda Star/Delta hasil pengukuran interface visualisasi ditampilkan pada Gambar 14. untuk motor induksi tiga fase dengan beban 2 Nm.

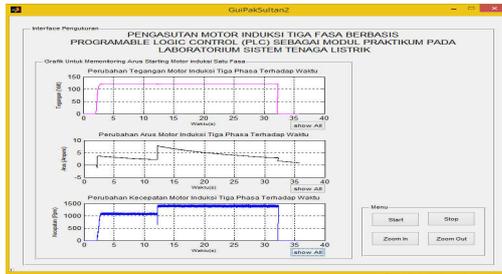


Gambar 14. Hasil Pengamatan Stating Metoda Start/Delta MITF Beban 2 Nm.

Gambar 14. menunjukkan pada MITF dengan beban 2 Nm, starting motor metoda Y/Δ, tegangan motor berkurang sedikit saat perubahan dari hubung Y ke hubung Δ, hal ini karena adanya arus yang lebih besar pada saat terhubung Δ. Sama seperti saat motor distart tanpa beban, arus starting motor hubung Y cukup kecil bahkan lebih kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere (pada nameplate motor). Saat perubahan saklar dari motor hubung Y ke hubung Δ arus motor tidak sampai dua kali arus nominal, hanya 1,5 kali dari arus nominal motor. Kecepatan motor bertambah saat motor terhubung Δ dan kecepatan motor langsung berkurang dengan cepat bahkan langsung berhenti setelah motor dimatikan, hal ini karena motor dibebani 2 Nm. Sesuai dengan setting waktu perubahan motor hubung Y ke hubung Δ yaitu sebesar 10 detik, setting waktu perubahan motor 10 detik belum menghasilkan kondisi

steady state pada motor saat dihubungkan ke Δ.

Hasil pengamatan untuk MITF yang distart dengan metoda Star/Delta hasil pengukuran interface visualisasi ditampilkan pada Gambar 14. untuk motor induksi tiga fase dengan beban 4 Nm.



Gambar 15. Hasil Pengamatan Stating Metoda Start/Delta MITF Beban 4 Nm.

Gambar 15. menunjukkan pada MITF dengan beban 4 Nm, starting motor metoda Y/Δ, tegangan motor relatif konstan saat perubahan dari motor hubung Y ke hubung Δ. Tidak seperti saat motor distart tanpa beban dan motor dengan beban 2 Nm, arus starting motor hubung Y hampir sama dengan arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere (pada nameplate motor). Saat perubahan saklar dari motor hubung Y ke hubung Δ arus motor tidak sampai dua kali arus nominal, hanya 1,5 kali dari arus nominal motor. Kecepatan motor bertambah cukup signifikan saat motor terhubung Δ dan kecepatan motor langsung berhenti setelah motor dimatikan, hal ini karena motor dibebani cukup berat 4 Nm. Sama dengan motor tanpa beban dan motor dengan beban 2 Nm, setting waktu perubahan motor hubung Y ke hubung Δ yaitu sebesar 10 detik belum menghasilkan kondisi steady state pada motor saat dihubungkan ke Δ.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan judul “Pengasutan Motor Induksi Tiga Fase Berbasis Programmable Logic Control Sebagai Modul Praktikum Pada Laboratorium Sistem Tenaga” dapat dibuatkan simpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat modul untuk starting motor induksi tiga fase dengan metode Y/Δ berbasis kontrol PLC dengan pembacaan secara real time tegangan, arus dan kecepatan motor saat motor distart sampai motor dimatikan.
2. Setting waktu 10 detik pada PLC untuk perubahan motor hubung Y ke hubung Δ

saat starting, motor belum dalam kondisi steady state saat motor terhubung Y ke hubung  $\Delta$ .

3. Magnitude tegangan saat terhubung Y dan hubung  $\Delta$  relatif sama tidak terjadi perubahan yaitu 220 Volt antar fase atau 127 Volt antara fase ke netral baik untuk motor tanpa beban, motor dengan beban 2 Nm atau motor dengan beban 4 Nm.
4. Magnitude arus motor saat start terhubung Y lebih kecil dari arus nominal motor (4,2 Ampere) kecuali saat motor dengan beban 4 Nm. Perubahan motor dari hubung Y ke hubung  $\Delta$  arus start hubung  $\Delta$  mencapai 1,5 kali arus nominal motor.
5. Kecepatan motor bertambah dengan cukup signifikan untuk perubahan hubung motor dari hubung Y ke hubung  $\Delta$  untuk motor dengan beban 4 Nm.

#### SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dibuatkan saran untuk pengembangan penelitian berikutnya yaitu:

1. Perlu diteliti setting waktu yang berbeda-beda untuk melihat waktu yang paling optimal untuk perubahan hubung Y ke hubung  $\Delta$  pada motor saat motor di start menggunakan metoda starting Y/ $\Delta$ .
2. Perlu dikembangkan koordinasi penggunaan PLC sebagai kontrol motor dengan waktu pembacaan interface yang dapat dioperasikan bersamaan dengan penekanan *push botton* start saat mengoperasikan motor.

#### DAFTAR PUSTAKA

Abderrahmane Ouchatti, Ahmed Abbou, Mohammed Akherraz, Abderrahim Taouni, 2014, "Induction Motor Controller Using Fuzzy MRAS and Backstepping Approach", Internasional review of electrical enginering, Vol. 9, No. 3.

Brian heber, Longya Xu dan Yifan Tang, 1997, "Fuzzy logic enhanced speed control of an indirect field-oriented induction machine drive", IEEE Transactions on Power Electronics , Volume:12 , no. 5.

<http://www.serbaelektro.com/2015/02/metode-pengasutan-motor-induksi.html>.

KBK STL, 2015, "Modul Praktikum Mesin-mesin Listrik", Laboratorium Sistem Tenaga, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.

Pinem, R, 2011, "Pengaturan Motor Induksi Satu Fasa Berbasis PLC, Aplikasi Pada pada Laboratorium Konversi Energi, Teknik Elektro, USU", Laboratorium Konversi Energi, Teknik Elektro, Univeritas Sumatra Utara.

Sultan, Nrartha, I.M., Muljono, A.B., 2014, "Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Rotor Sangkar dengan Berbagai Pengasutan (Sebagai Modul Praktikum di Laboratorium Sistem Tenaga), laporan penelitian dana PNBP 2014.