

ANALISIS SETING WAKTU PENGASUTAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA METODE BINTANG-SEGITIGA BERBASIS HMI-PLC DAN ARDUINO UNO

Analysis of Time Setting of Three Phase Induction Motor Starting by using Star-Delta Method Based on HMI-PLC and Arduino Uno

Fitra Anugerah^[1], I Made Ginarsa^[1], Sultan^[1]

^[1]Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram

E-mail: fitra.anugerah501@gmail.com, kadekgin@unram.ac.id, sultandarma@unram.ac.id

ABSTRAK

Motor induksi merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan secara luas baik dalam industri besar maupun kecil dibandingkan motor jenis lain. Namun dalam kenyataannya, motor induksi paling banyak menimbulkan arus awal (*starting*) yang besar yaitu (5–7 kali dari arus nominal). Salah satu alternatif untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan metode pengasutan Bintang-Segitiga. Pengasutan motor induksi tiga fasa dalam penelitian ini dengan menggunakan metode pengasutan Bintang-Segitiga yang dikontrol dengan *Human Machine Interface-Programmable Logic Control* (HMI-PLC) sebagai pengontrol motornya. Diperoleh hasil dengan nilai erornya sangat kecil, yaitu pada pengukuran tegangan terjadi nilai eror pada 0,86%, nilai error pada sensor arus adalah 2,697% dan nilai error pada sensor kecepatan adalah 0,27%. Pengujian pada motor tanpa beban dan berbeban pada hubung Bintang mencapai tegangan 220 Volt. Kemudian saat perpindahan ke hubung segitiga tegangan turun menjadi 216 Volt dan arus dari kedua hubungan tersebut adalah cukup kecil yaitu 4,2 Ampere pada kecepatan motor 1400 rpm.

Kata kunci: Motor induksi, Pengasutan motor, hubungan Bintang-Segitiga, HMI-PLC dan Arduino Uno.

ABSTRACT

Induction motors are the most widely used type of motor in both large and small industries compared to other types of motors. But in reality, induction motors generate the highest starting current (5-7 times of nominal current) that is a main problem in induction motor application. One alternative to overcome this problem is to use the Star-Delta starting method. The Star-Delta method controlled by Human Machine Interface-Programmable Logic Control (PLC-HMI) is applied on 3-phase induction motor starting. Results show that error values are 0.86%, 2.697% and 0.27% for the voltage, current and average-speed errors, respectively. The error values of sensor for the voltage, current and average-speed sensors are very small. Tests on an induction motor without and with a load on the star circuit reaches a voltage of 220 Volts. When the switch is changed into Delta connection the voltage drops to 216 Volts, the current value of the two connections is quite small at 4.2 Amperes and motor speed at 1400 rpm.

Key words: Induction motor, motor starting, Star-Delta connection, HMI-PLC and Arduino Uno.

PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan secara luas baik dalam industri besar maupun kecil dibandingkan motor jenis lain. Salah satu aplikasi motor induksi di industri adalah untuk menggerakkan conveyor. Kelancaran akan sistem produksi di industri sangat ditentukan oleh kinerja dari motor induksi [1]. Motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu: motor induksi satu

fasa dan motor induksi tiga fasa. Motor induksi satu fasa hanya memiliki satu gulungan stator [2], beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor sangkar 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, mesin cuci dan pengering pakaian, sedangkan motor induksi tiga fasa, tidak membutuhkan peralatan bantu

untuk berputar. Kecepatan putarannya dapat diperoleh dari medan magnet berputar yang dihasilkan oleh sumber tiga fasa yang seimbang [3].

Motor induksi yang sering digunakan di industri adalah motor induksi tiga fasa. Namun dalam kenyataannya, motor induksi paling banyak menimbulkan arus awal (*starting*) yang besar yaitu (5–7 kali dari arus nominal) [3]. 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 [4]. Selain itu, untuk motor berdaya besar, waktu berhenti putaran motor relatif lama. Hal ini menyebabkan proses produksi di industri mengalami penurunan.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, banyak industri yang menuntut sistem pengoperasian motor yang murah dan mudah, khususnya untuk motor induksi tiga fasa. Pengoperasian yang mudah dan murah yaitu menggunakan metode control seperti PLC (*Programmable Logic Control*) dan HMI (*Human Machine Interface*) [5][6]. Juga, sistem pengawatan pada metode pengasutan motor induksi lebih sedikit dan kalau ada kesalahan fungsi dapat diketahui secara cepat serta dapat dipantau fungsi kerja masing-masing peralatan. [1]. Penggunaan PLC [7] [8] dapat mengurangi ukuran panel yang digunakan dan dapat menggantikan sistem pengkabelan yang masih dipergunakan pada sistem sebelumnya sehingga dapat mengurangi luas panel kontrol yang dibutuhkan serta rangkaiannya lebih sederhana. Kondisi ini menyebabkan industri-industri besar beralih menggunakan HMI dan PLC untuk semua kerpeluan pengasutan motor dan kontrol-kontrol peralatannya [9].

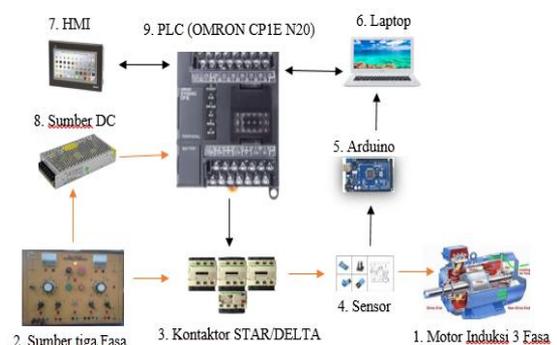
Berdasarkan dari perkembangan metode pengasutan dan kontrol motor yang telah dijelaskan diatas, maka dalam hal ini penulis akan mencoba membuat sistem operasi pengasutan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan metode pengasutan bintang-segitiga (Y- Δ) yang dikontrol dengan PLC dan HMI sebagai

pengontrol motornya. Serta menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengolah hasil dari pembacaan sensor pada motor induksi tiga fasa, hasil pengukuran yang dibaca oleh sensor akan ditampilkan pada komputer secara serial menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) yang dirancang menggunakan *software* MATLAB R2013a.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini membuat rangkaian pengasutan motor induksi tiga fasa yang dapat berkoordinasi antara penggunaan HMI, PLC dan Arduino sebagai kontrol motor dengan melihat waktu pembacaan yang paling optimal untuk perubahan hubung bintang (Y) ke hubung segitiga (Δ) pada motor, saat motor di-*start* menggunakan metode bintang-segitiga. Untuk mewujudkan rancangan tersebut terdapat beberapa sensor yang akan digunakan untuk mendeteksi besaran-besaran listrik berupa arus, tegangan, kecepatan putaran dari motor induksi tiga fasa. Data yang dihasilkan oleh sensor-sensor tersebut akan diolah oleh Arduino Uno, selanjutnya membuat program pada PLC dan HMI berupa program diagram ladder dengan menggunakan *software* CX Programmer dan NB Designer melalui komputer/laptop. Langkah berikutnya adalah menguji fungsi kerja keluaran dari PLC untuk pengasutan berdasarkan program diagram ladder yang telah dibuat.

Berikut ini dapat dilihat diagram blok penelitian secara umum pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Keterangan:

Alur kabel daya →

Alur kabel kontrol →

1. Motor AC tiga fasa merupakan motor yang akan diasut.

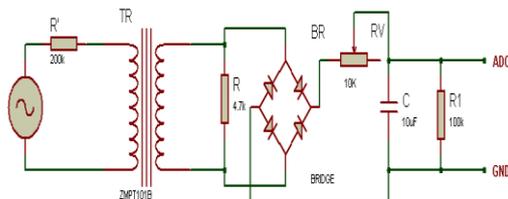
2. Sumber AC tiga fasa digunakan sebagai suplai utama motor induksi tiga fasa.
3. Pengasutan bintang-segitiga (Y- Δ) adalah rangkaian asut bintang-segitiga untuk motor induksi tiga fasa.
4. Sensor arus (ZMCT103C), sensor tegangan (ZMPT101B) dan sensor kecepatan untuk membaca perubahan arus, tegangan dan kecepatan asut pada motor induksi tiga fasa.
5. Arduino untuk mengolah data keluaran dari sensor menggunakan logika aritmatika.
6. Laptop untuk pemrograman pada PLC dengan menggunakan program diagram ladder dan HMI dengan NB designer.
7. HMI sebagai kontrol untuk PLC.
8. Sumber DC digunakan untuk suplai daya PLC dan mengaktifkan *input* dari PLC.
9. PLC dengan 20 buah port I/O (OMRON CP1E N20) untuk modul PLC pengasutan motor induksi tiga fasa.

a. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) meliputi: sensor tegangan, sensor arus dan sensor kecepatan.

a.1. Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan antar fasa sehingga dapat diketahui besar tegangan antar fasa-ke-fasa (V_{LL}). Pada pembuatan sensor tegangan ini menggunakan *single phase voltage transformer* jenis ZMPT101B seperti terlihat pada Gambar 2 [10][11].



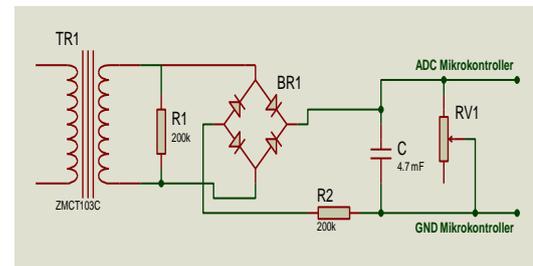
Gambar 2. Rangkaian sensor tegangan

Jadi jika tegangan *input* yang dihasilkan adalah $5 V_{ac}$. Kemudian agar tegangan ini dapat dibaca oleh mikrokontroller maka perlu di searahkan menggunakan rangkaian penyearah

gelombang penuh. Hasil tegangan penyearahan akan menjadi *input* pada mikrokontroller. Untuk menentukan bahwa hasil pengukuran sensor tegangan yang telah dirancang nantinya telah sesuai dengan nilai tegangan yang diukur, maka dilakukan proses kalibrasi dengan membandingkan hasil pengukuran sensor tegangan dengan multimeter digital.

a.2. Sensor Arus

Rangkaian sensor arus ZMCT103C berfungsi untuk mendeteksi arus dengan nilai maksimal sebesar 5 A kemudian akan menghasilkan *output* berupa tegangan dari 0-5 Volt. Tegangan ini dijadikan sebagai *input* analog pada pin analog Arduino. Untuk mendapatkan nilai arus maka dilakukan konversi data analog tersebut menjadi nilai arus menggunakan program IDE Arduino [12][13].



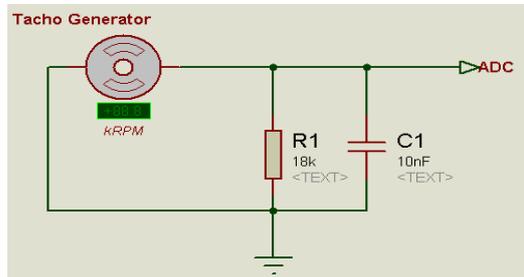
Gambar 3. Rangkaian sensor arus

Jadi jika arus yang dihasilkan sebesar 5 Ampere, kemudian agar arus ini dapat dibaca oleh mikrokontroller maka perlu di searahkan menggunakan rangkaian penyearah gelombang penuh. Hasil arus penyearah akan menjadi *input* pada mikrokontroller. Untuk menentukan bahwa hasil pengukuran sensor arus yang telah dirancang nantinya telah sesuai dengan nilai arus yang diukur, maka dilakukan proses kalibrasi dengan membandingkan hasil pengukuran sensor arus dengan multimeter digital [14].

a.3. Sensor Kecepatan

Untuk mengukur kecepatan putaran motor induksi 3 fasa pada penelitian ini akan digunakan *tacho generator*. *Tacho generator* yang digunakan memiliki keluaran berupa tegangan DC yang nilainya linear terhadap masukan kecepatan putaran yang diukur yaitu apabila kecepatan putaran dari *tacho generator* adalah 1000 rpm maka keluaran tegangannya adalah $1 V_{dc}$. Keluaran tegangan inilah yang akan dimasukkan ke

Analog to Digital (ADC) mikrokontroller Arduino Uno, sehingga mikrokontroller akan dapat digunakan untuk mengukur kecepatan putaran (rpm) motor induksi 3 fasa. Berikut adalah rangkaian *tacho generator* yang akan digunakan dalam penelitian [11][13].



Gambar 4. Rangkaian Sensor Kecepatan

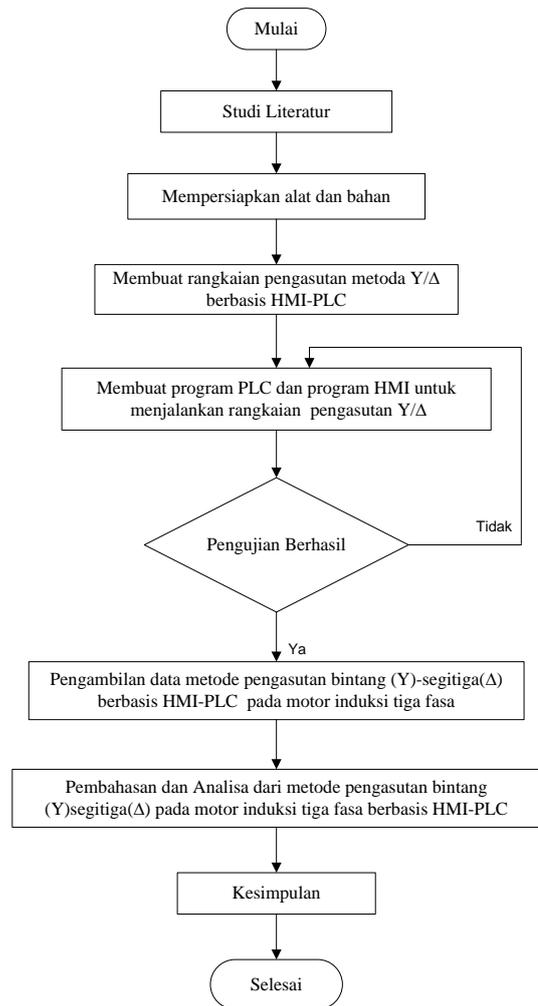
Pada rangkaian tersebut dipasang resistor yang berfungsi sebagai resistor *full up* untuk ADC mikrokontroller agar ketika *tacho generator* tidak memberikan tegangan keluaran (tidak terpasang) pembacaan ADC tidak kacau karena yang akan terbaca adalah 0 V dari *ground*. Sedangkan pemasangan kapasitor berfungsi sebagai filter untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran *tacho generator*, sehingga pembacaan ADC tetap konstan pada nilai yang terukur. *Tacho generator* yang digunakan adalah *tacho generator* (LB 732 09) yang ada di Laboratorium Sistem Tenaga Fakultas Teknik Universitas Mataram.

b. Diagram Alir Penelitian

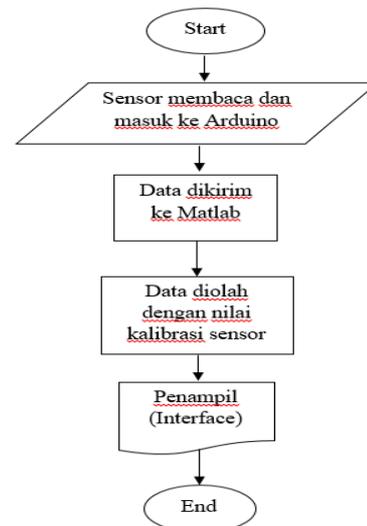
Tahapan demi tahapan pengerjaan penelitian yang dilakukan penulis dapat diimplementasikan dengan alur penelitian. Adapun alur penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat diwujudkan dengan sebuah diagram alir seperti Gambar 5.

c. Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak

Proses penelitian sensor membaca data dan masuk ke Arduino, kemudian data dikirim ke matlab dan diolah dengan nilai kalibrasi sensor data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafis secara real time untuk setiap nilai tegangan, arus dan kecepatan.



Gambar 5 Diagram alir penelitian

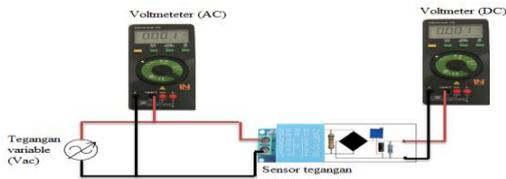


Gambar 6 Diagram alir perancangan perangkat lunak

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Sensor Tegangan

Pada pengujian sensor tegangan digunakan satu buah *single phase transformer* ZMPT101B yang digunakan untuk mengukur tegangan pada motor. Sensor tegangan dirangkai dengan beberapa komponen elektronika seperti resistor sebagai *burden*, penyearah untuk mengubah keluaran tegangan AC menjadi tegangan DC. Kemudian dirangkai dengan filter untuk mengurangi *ripple* pada keluaran sensor. Tegangan *input* primer sensor sebesar 220 V_{AC} dan tegangan *output* sekunder 5 V_{AC}. Untuk pengujian digunakan eksperimental transformator tipe 725 77 (tegangan variabel) untuk mendapatkan besar tegangan yang berubah sehingga pembacaan tegangan pada sensor juga berubah. Gambar 7 adalah rangkaian pengujian sensor tegangan.



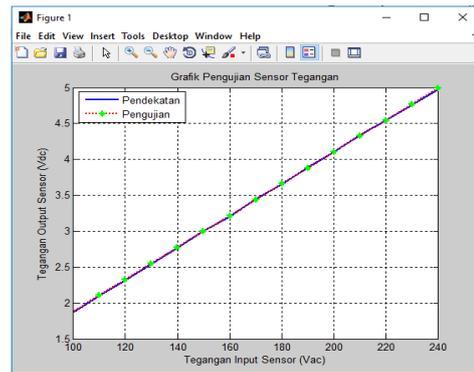
Gambar 7. Pengujian sensor tegangan

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Tegangan <i>input</i> sensor AC (V)	Tegangan <i>output</i> sensor DC (V)
100	1,86
110	2,10
120	2,30
130	2,54
140	2,76
150	3,01
160	3,20
170	3,45
180	3,65
190	3,90
200	4,10
210	4,35
220	4,54
230	4,74
240	4,95

Hasil perbandingan *input/output* sensor tegangan ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pengukuran *input/output* sensor tegangan pada Tabel 1. Maka dibuatkan pendekatan persamaan linear untuk dipergunakan dalam pemrograman pada Arduino. Persamaan linear dapat dibuat dengan fungsi "polyfit" pada MATLAB dengan data hasil pengukuran *input/output* pada Tabel 1. Grafik perbandingan antara hasil pengujian

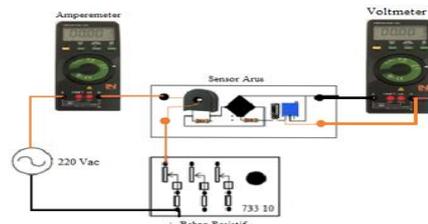
dengan hasil pendekatan sensor tegangan dapat diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengujian sensor tegangan

b. Pengujian Sensor Arus

Pada pengujian ini digunakan sebuah sensor arus ZMCT103C dan diuji dengan beban listrik seri dengan sumber tegangan 220 V_{AC}. Selanjutnya, mengukur arus *input* sensor dan tegangan *output* sensor yang berubah-ubah dengan menggunakan multimeter digital Lucas-Nulle LM-2330. Hasilnya adalah perbandingan antara tegangan ukur *output* sensor dan arus ukur *input* sensor. Nilai beban listrik diubah-ubah pada beban resistifnya. Cara pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9.



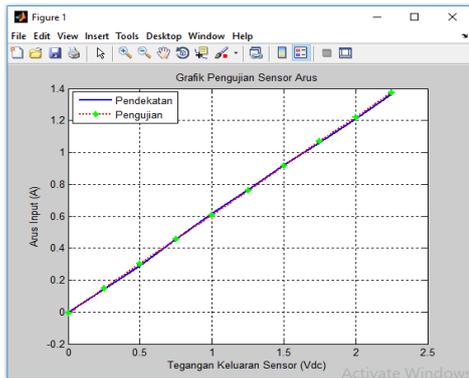
Gambar 9. Rangkaian pengujian sensor arus

Tabel 2. Hasil pengujian sensor arus

Arus <i>input</i> (I _{ac})	Tegangan <i>output</i> (V)
0,25	0,16
0,50	0,58
0,75	1,08
1,00	1,48
1,25	1,85
1,50	2,20
1,75	2,54
2,00	2,80
2,25	3,03

Hasil perbandingan *input/output* sensor arus ditampilkan pada Tabel 2. Pendekatan persamaan linear untuk digunakan dalam pemrograman pada Arduino dan persamaan linear dibuat menggunakan fungsi "polyfit" MATLAB. Gambar 10 adalah grafik perbandingan

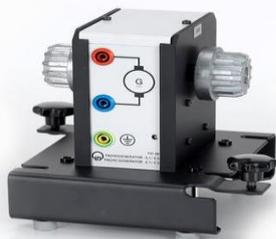
antara hasil pengujian dengan hasil pendekatan sensor arus.



Gambar 10. Grafik pengujian sensor arus

c. Pengujian Sensor Kecepatan

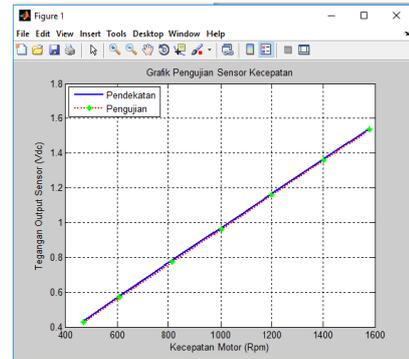
Pada penelitian ini *tacho* generator digunakan sebagai sensor kecepatan. *Tacho generator* dikopel langsung pada motor tiga fasa. Saat motor tiga fasa berputar maka *tacho generator* ikut berputar dan menghasilkan tegangan keluaran DC. Perbandingan kecepatan terhadap tegangan adalah 1000:1. Jadi setiap putaran sebesar 1000 rpm menghasilkan tegangan keluaran *tacho* sebesar 1 Volt DC. *Tacho generator* dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil perbandingan *input/output tacho generator* untuk tiap kecepatan ditampilkan pada Tabel 3. Selanjutnya, digunakan pendekatan linear untuk pengukuran kecepatan motor dan tegangan keluaran *tacho generator*.



Gambar 11. Tacho generator

Tabel 3. Hasil pengujian *tacho generator*

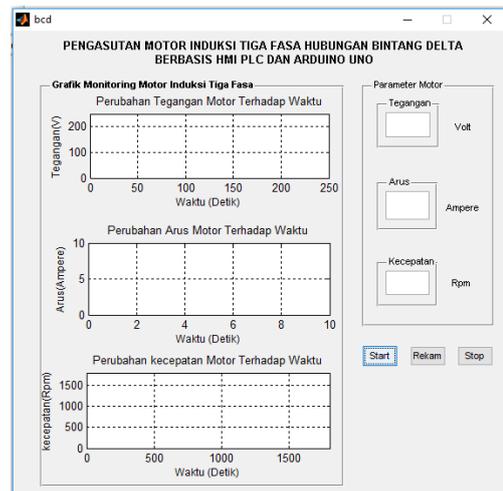
Kecepatan motor (Rpm)	Tegangan Tacho (V)
470	0,433
610	0,578
815	0,785
1003	0,970
1200	1,167
1402	1,369
1580	1,537



Gambar 12 Grafik Pengujian Tachogenerato

d. Pembuatan Interface pada Personal Computer

Pada penelitian ini mikrokontroller akan mengirimkan data tegangan, arus dan kecepatan. Semua data-data ini dikirim melalui komunikasi serial dari Arduino untuk mendapatkan data online dari sensor tegangan, sensor arus dan sensor kecepatan motor. Data pembacaan ini ditampilkan online sehingga hasil transien dari *starting* motor dapat dilihat pada program visualisasi menggunakan GUI. Gambar 13 menunjukkan program GUI yang yang dipakai.



Gambar 13. Program GUI pada Matlab

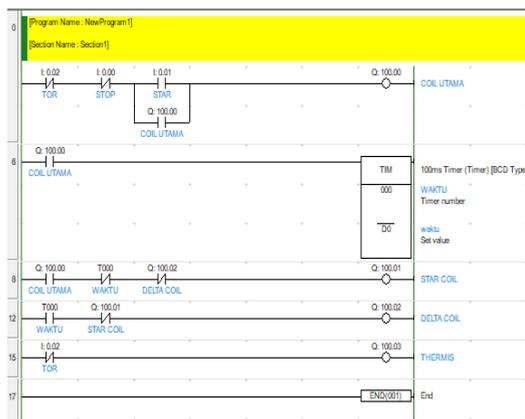
Fungsi tombol pada main:

Tombol *Start*: Mengirim perintah menampilkan dan menyimpan nilai-nilai parameter dari motor.

Tombol *Stop*: Mengirim perintah berhenti dari main menu dan berhenti menyimpan nilai-nilai parameter motor.

e. Hasil Pembuatan Program Ladder Diagram

Software yang digunakan oleh PLC ini adalah *CX programmer* dengan model *ladder diagram* (Diagram tangga) dan menggunakan jenis 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 dikontrol. Pada pengasutan motor dibutuhkan sumber AC 220 Volt untuk mengaktifkan kontaktor. *Diagram Ladder* untuk pengasutan bintang-segitiga pada program *CX Programmer* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram Ladder untuk pengasutan bintang-segitiga

f. Hasil Pembuatan NB Designer

Perangkat HMI yang digunakan adalah Omron NB7W-TW00B dan software NB Designer Ver. 1.35. Software ini digunakan untuk membuat gambar tampilan pada HMI Omron dan menentukan alamat dalam PLC. Tampilan menu program Gambar 15 adalah bagian yang berfungsi sebagai tombol, kotak nomor parameter waktu yang diset, lampu indicator, pantauan mesin dan teks. Berikut ini adalah pembahasan fungsi-fungsi tersebut, pembahasan dilakukan pada setiap tombol, tetapi hanya dijelaskan fungsi setiap tombol dan jenis komponen yang digunakan untuk HMI *NB-Designer*.



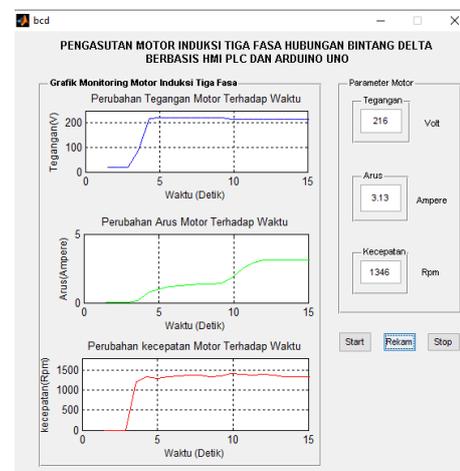
Gambar 15. Menu pengasutan bintang-segitiga

g. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian perangkat yang dibuat dihubungkan dengan motor induksi tiga fasa dalam keadaan tanpa beban dan dikopel dengan *magnetic power brake*. Pengukuran dan pengujian keseluruhan sistem ini meliputi pengukuran variabel tegangan, arus dan kecepatan motor induksi berdasarkan *starting* metode bintang-segitiga dan setting waktu yang berbeda-beda. Motor yang digunakan yaitu motor induksi 1 kW. Motor di-*start* dengan tanpa beban dan berbeban untuk melihat respon tegangan, arus dan kecepatan sesaat setelah di-*start* sampai beroperasi dalam kondisi *steady state*. Nilai yang diamati adalah perubahan *starting* dari bintang ke segitiga.

g.1. Pengukuran Motor Tanpa Beban dengan Setting Waktu 6 Detik

Hasil pengukuran untuk pengasutan motor induksi tiga fasa yang di-*start* dengan metoda bintang-segitiga dengan setting waktu 6 detik. Hasil pengukuran *interface* yang ditampilkan pada Gambar 16.

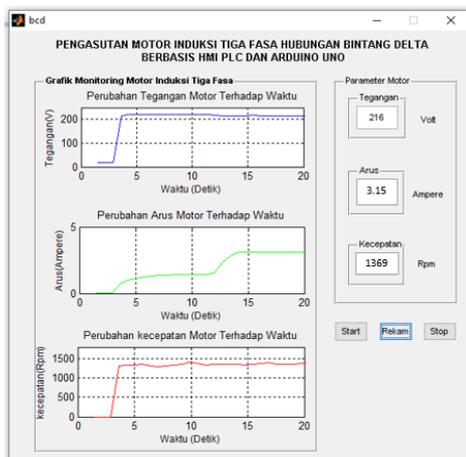


Gambar 16. Pengukuran pengasutan motor tanpa beban dengan setting waktu 6 detik

Hasil pengujian pada Gambar 16 menunjukkan bahwa pada saat *starting* motor induksi, diperoleh bahwa tegangan motor mengalami kenaikan sampai tegangan nominal (220 V) saat motor hubung bintang. Selanjutnya, tegangan motor berkurang sedikit terhubung segitiga. Hal ini disebabkan karena arus naik ketika motor terhubung segitiga. Arus dari motor saat terhubung bintang adalah 4,2 Ampere. Untuk kecepatan dari motor relatif sama dengan kecepatan nominal saat di-*start* sampai dengan motor di-*stop* yaitu 1346 rpm. Kecepatan motor setelah di-*stop* berkurang secara perlahan-lahan, hal ini karena motor belum dibebani, sehingga tidak ada pengereman yang cukup signifikan pada motor.

g.2. Pengukuran Motor Tanpa Beban dengan Setting Waktu 9 Detik

Hasil pengukuran untuk pengasutan motor induksi tiga fasa yang di-*start* dengan metoda bintang-segitiga dengan setting waktu 9 detik ditampilkan pada Gambar 17.



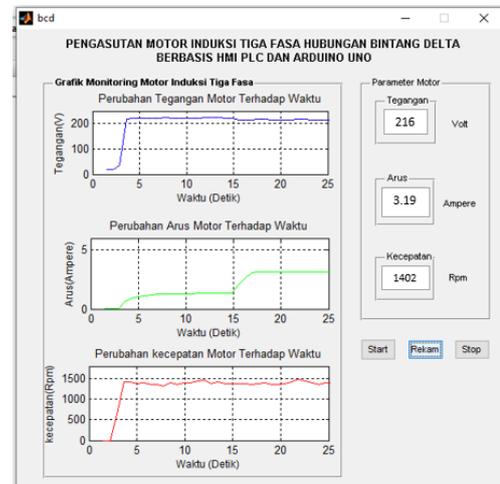
Gambar 17. Pengasutan motor tanpa beban dengan setting waktu 9 detik

Gambar 17 menunjukkan bahwa saat *starting* motor dengan metode bintang-segitiga. Diperoleh bahwa tegangan mengalami kenaikan sampai tegangan kerja yaitu (220 V) saat motor hubung bintang. Tegangan ini turun sedikit menjadi 216 V saat perubahan dari hubung bintang-ke-segitiga. Hal ini disebabkan oleh arus yang lebih besar ketika motor terhubung segitiga. Arus motor hubung bintang dan hubung segitiga adalah lebih kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere. Kecepatan motor relatif sama dengan kecepatan normal pada saat di-*start* sampai dengan motor di-*stop* yaitu 1369 rpm. Kecepatan

motor setelah di-*stop* akan berkurang secara perlahan-lahan.

g.3. Pengukuran Motor Tanpa Beban dengan Setting Waktu 12 Detik

Hasil pengukuran untuk pengasutan motor induksi tiga fasa yang di-*start* dengan metoda bintang-segitiga dengan setting waktu 12 detik ditampilkan pada Gambar 18.



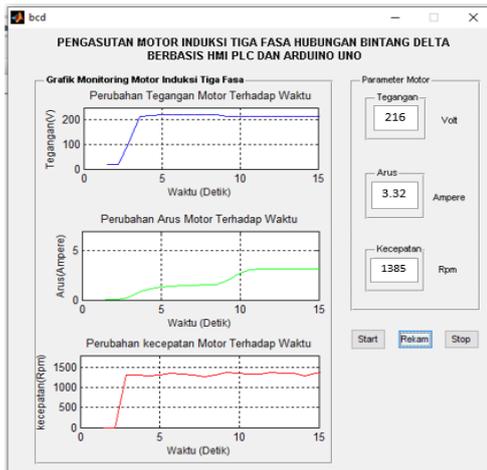
Gambar 18. Hasil pengukuran pengasutan motor tanpa beban untuk setting waktu 12 detik

Gambar 18 menunjukkan grafik tegangan, arus dan kecepatan saat *starting* motor menggunakan metode bintang-segitiga. Tegangan motor naik sampai tegangan nominal (220 V) ketika motor terhubung bintang. Kemudian tegangan motor berkurang sedikit menjadi 216 V ketika perubahan dari hubung bintang ke hubungsegitiga. Hal ini karena adanya arus yang lebih besar pada saat terhubung Δ , untuk arus dari motor induksi tiga fasa pada saat hubung Y dan hubung Δ cukup kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere. Sedangkan kecepatan motor relatif naik sedikit dari kecepatan normal yaitu pada saat di-*start* sampai dengan motor di-*stop* kecepatan terbaca 1402 rpm, dan kecepatan motor setelah di-*stop* akan berkurang secara perlahan-lahan, hal ini karena motor belum dibebani, sehingga tidak ada pengereman yang cukup signifikan yang terjadi pada motor.

g.4. Pengukuran Motor untuk Beban 2 Nm dengan Setting Waktu 6 Detik

Hasil pengukuran untuk pengasutan motor induksi di-*start* dengan metoda bintang-segitiga untuk beban 2 Nm dengan setting waktu 6 detik, didapatkan hasil pengukuran

interface yang ditampilkan pada Gambar 19.

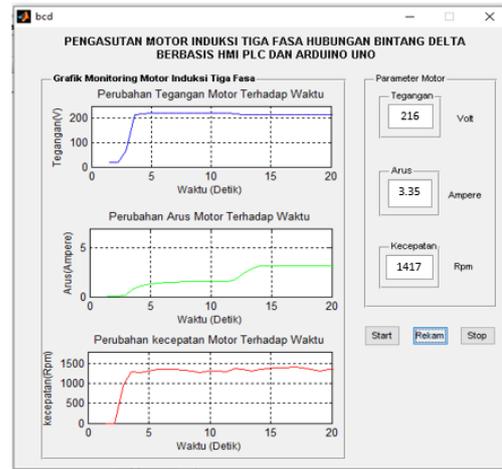


Gambar 19. Hasil pengukuran pengasutan motor beban 2 Nm dengan setting waktu 6 detik

Grafik hasil pengujian pada Gambar 19 menunjukkan pada motor induksi tiga fasa dengan beban 2 Nm, pada saat motor di-start dengan kondisi hubungan Bintang (Y) tegangan motor induksi tiga fasa mengalami kenaikan sampai tegangan normal yaitu 220 Volt (tegangan fasa), tegangan motor berkurang sedikit menjadi 216 volt saat perubahan dari hubung Y ke hubung segitiga (Δ), hal ini karena adanya arus yang lebih besar pada saat terhubung Δ . Sama seperti saat motor di-start tanpa beban, untuk arus dari motor induksi tiga fasa pada saat hubung Y dan hubung Δ cukup kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere, Sedangkan kecepatan yang terbaca dari motor relatif sama dengan kecepatan normal pada saat di-start sampai dengan motor di-stop yaitu dengan kecepatan terbaca 1385 rpm, dan kecepatan motor langsung berkurang dengan cepat bahkan langsung berhenti setelah motor di-stop, hal ini karena motor dalam keadaan berbeban.

g.5. Pengukuran Motor untuk Beban 2 Nm dengan Setting Waktu 9 Detik

Hasil pengukuran untuk pengasutan motor induksi tiga fasa yang di-start dengan metoda bintang segitiga untuk beban 2 Nm dengan setting waktu 9 detik, didapatkan hasil pengukuran *interface* yang ditampilkan pada Gambar 20.

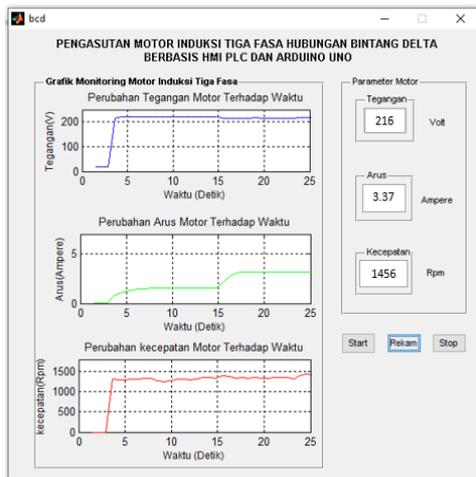


Gambar 20. Hasil pengukuran pengasutan motor beban 2 Nm dengan setting waktu 9 detik

Pengujian pengasutan motor seperti yang ditunjukkan pada grafik Gambar 20 menunjukkan pada motor induksi tiga fasa dengan beban 2 Nm, pada saat motor di-start dengan kondisi hubungan Bintang (Y) tegangan motor induksi tiga fasa mengalami kenaikan sampai tegangan normal yaitu 220 Volt (tegangan fasa), tegangan motor berkurang sedikit menjadi 216 volt saat perubahan dari hubung Y ke hubung segitiga (Δ), hal ini karena adanya arus yang lebih besar pada saat terhubung Δ . Sama seperti saat motor di-start tanpa beban, untuk arus dari motor induksi tiga fasa pada saat hubung Y dan hubung Δ cukup kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere, Sedangkan kecepatan yang terbaca dari motor relatif sama dengan kecepatan normal pada saat di-start sampai dengan motor di-stop yaitu dengan kecepatan terbaca 1417 rpm, dan kecepatan motor langsung berkurang dengan cepat bahkan langsung berhenti setelah motor di-stop, hal ini karena motor dalam keadaan berbeban.

g.6. Pengukuran Motor untuk Beban 2 Nm dengan Setting Waktu 12 Detik

Hasil pengukuran untuk pengasutan motor induksi tiga fasa yang di-start dengan metoda bintang segitiga untuk beban 2 Nm dengan setting waktu 12 detik, didapatkan hasil pengukuran *interface* yang ditampilkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Hasil pengukuran pengasutan motor beban 2 Nm dengan setting waktu 12 detik

Hasil Pengukuran pengujian pengasutan motor pada garfik Gambar 21. menunjukkan bahwa pada motor induksi tiga fasa dengan beban 2 Nm, pada saat motor di-start dengan kondisi hubungan Bintang (Y) tegangan motor induksi tiga fasa mengalami kenaikan sampai tegangan normal yaitu 220 Volt (tegangan fasa), tegangan motor berkurang sedikit menjadi 216 volt saat perubahan dari hubung Y ke hubung segitiga (Δ), hal ini karena adanya arus yang lebih besar pada saat terhubung Δ . Sama seperti saat motor di-start tanpa beban, untuk arus dari motor induksi tiga fasa pada saat hubung Y dan hubung Δ cukup kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere, sedangkan kecepatan motor saat di-start dengan kondisi hubung Y motor mengalami penurunan dari kecepatan normalnya, sehingga pada saat perubahan motor ke hubung Δ kecepatan motor mengalami kenaikan lebih dari kecepatan normalnya yaitu 1456 rpm, dan kecepatan motor langsung berkurang dengan cepat bahkan langsung berhenti setelah motor di-stop, hal ini karena motor diberikan beban 2 Nm.

KESIMPULAN

Penelitian ini adalah merancang rangkaian sensor untuk membaca parameter motor induksi tiga fasa. Sensor yang digunakan yaitu sensor tegangan, sensor arus dan sensor kecepatan diuji menghasilkan error pengukuran rata-rata sebesar 0,86%, 2,697%, dan 0,27% untuk masing-masing sensor tegangan, sensor arus dan sensor kecepatan. Rangkaian

pengasutan motor induksi tiga fasa dengan metode bintang (Y) segitiga (Δ) yang berbasis kontrol PLC-HMI dan Arduino Uno mampu membaca tegangan, arus dan kecepatan motor secara real time. Pengujian dilakukan untuk setting waktu yang berbeda-beda baik untuk motor tanpa beban dan motor dibebani. Tegangan dari motor induksi saat motor di-start dengan kondisi terhubung bintang (Y) tegangan mengalami kenaikan sampai dengan tegangan nominal 220 V (tegangan fasa) dan tegangan menjadi berkurang sedikit ke 216 V ketika motor terhubung segitiga (Δ). Untuk Arus dari motor induksi tiga fasa pada saat hubung Y dan hubung Δ cukup kecil dari arus nominal motor yaitu 4,2 Ampere. Kecepatan dari motor relatif sama dengan kecepatan normal pada saat di-start sampai dengan motor di-stop, kecuali pada saat pengujian setting waktu 12 detik dengan tanpa beban dan berbeban kecepatan motor mengalami kenaikan sedikit melebihi kecepatan normalnya pada saat perubahan ke hubung Δ .

REFERENSI

- [1]. H.N. Handoko, T. Sukmadi, K. Karnoto, 2014, Pengendali Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) untuk Pengolahan Kapuk. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, Vol. 3, No.1, PP. 29 -36. Tersedia pada: <http://doi.org/10.14710/transient.3.1.29-36>.
- [2]. Zuhail. 1991. *Dasar Tenaga Listrik*. ITB, Bandung.
- [3]. P. Sumardjati, S. Yahya, dan A. Mashar, 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*, Jilid 3, Jakarta.
- [4]. Sultan, I.M.A. Nrartha, dan A.B. Muljono, "Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar dengan Berbagai Pengasutan", *Jurnal Dielektrika*, ISSN 2086-9487. Vol. 2, No. 1, PP. 57 – 66. Februari 2015.
- [5]. M. Budiyanto dan A. Wijaya, 2003. *Pengenalan Dasar-Dasar PLC (Programmable Logic Controller)*. Gava Media, Yogyakarta.
- [6]. B. Bolton, 2009. *Programmable Logic Controller Fifth Edition*. Newnes, USA.
- [7]. Sultan, A.B. Muljono, dan I.M.A. Nrartha, "Visualisasi Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis *Programmable Logic Control*", *Jurnal Dielektrika*, [P-ISSN 2086-9487] [E-ISSN 2579-650X], Vol. 4, No. 1, PP. 58 – 69. Februari 2017.

- [8]. I.J. Prakoso, A. Warsito, T. Sukmadi, 2012, Perancang Pengasutan Bintang - Segitiga dan Pengereman Dinamik pada Motor Induksi Tiga Fasa dengan Menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*, TRANSMISI, Vol. 14, No.1, PP. 13 -19. Online website <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi>.
- [9]. M.K. Shihab, I.M.A. Nrartha, I.M.B. Suksmadana, 2018, Analisis Arus *Starting* dan Torsi pada Motor Induksi Tiga Fasa Terhadap Pemasangan Kapasitor Secara Real Time Berbasis Atmega 2560, *Jurnal Dielektrika*, Vol. 5, No. 2, PP. 99 - 107. Tersedia pada: <http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/167>.
- [10]. Datasheet, 2017a, *ZMCT103C Current Transformer Sensor Module*, Texas Instruments.
- [11]. Datasheet, 2017b, *ZMPT101B Voltage Transformer Operating Guide*. Interplus Industry Co.Ltd.
- [12]. Omron, 2016, *Sysmac CP Series User's Manual*, OMRON Corporation, Tokyo, JAPAN.
- [13]. Omron, 2016, *NB-Series Programmable Terminals Setup Manual*, OMRON Corporation, Tokyo, JAPAN.
- [14]. Omron, 2017, *NB-Series Programmable Terminals Startup Guide Manual*, OMRON Corporation, Tokyo, JAPAN.