

IMPLEMENTASI *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL* (PLC) OMRON CP1E PADA SISTEM KENDALI MOTOR INDUKSI STAR-DELTA UNTUK KEBUTUHAN INDUSTRI

Firdaus Yudha Hartawan¹, Mia Galina²

^{1,2}President University

Email: ¹Yudhahartawan62@gmail.com,^{2*}miagalina@president.ac.id

Abstrak

Abstrak-- Rangkaian kendali star delta adalah sistem yang digunakan untuk mengendalikan motor induksi dengan daya minimal 7,5 kW. Kebanyakan industri masih menggunakan sistem kendali konvensional atau tanpa menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan PLC OMRON CP1E E-30-DR-A sebagai sistem kendali otomatis pada motor induksi star delta, yang sistem kerjanya dirancang menggunakan diagram ladder. Pada penelitian ini juga ditambahkan sistem pengaman yang akan memberikan proteksi lebih pada komponen maupun sistem secara keseluruhan. Komponen utama PLC yang digunakan mempunyai rentang tegangan kerja sebesar 100 - 240 V_{AC}. Perancangan sistem ini menggunakan dua sistem utama yaitu sistem kendali yang terdiri dari tombol tekan ON/OFF dengan tegangan kerja 24 V_{DC}. Sistem daya yang terdiri dari kontaktor dengan tegangan kerja pada terminal A₁ sebesar 220 V_{AC} dan manual motor starter sebagai pengaman untuk motor induksi. Hasil dari pengujian sistem ini menunjukkan semua komponen sistem dapat berfungsi dengan baik dengan suplai tegangan sesuai spesifikasi, yaitu tegangan kerja pada terminal L₁ PLC sebesar 241,1 V_{AC}, tegangan pada sistem kendali tombol tekan ON sebesar 24,53 V_{DC} dan tombol tekan OFF sebesar 24,6 V_{DC}. Tegangan kerja pada sistem daya pada terminal A₁ kontaktor sebesar 241,1 V_{AC}.

Kata Kunci: PLC, Motor Induksi, Star-Delta, Tegangan

Abstract

The star delta control circuit is a sistem used to control an induction motor with a minimum power of 7.5 kW. Most industries still use conventional control systems or without the use of PLC (Programmable Logic Controller). The purpose of this research is to apply PLC (Programmable Logic Controller) OMRON CP1E E-30-DR-A as an automatic control sistem on a star delta induction motor, whose working sistem is designed using a ladder diagram. In this study also added a safety sistem that will provide more protection to the components and the sistem as a whole. The main components of the PLC used have a working voltage range of 100 - 240 V_{AC}. The design of this sistem uses two main systems, namely a control sistem consisting of an ON/OFF pushbutton with a working voltage of 24 V_{DC}. The power sistem consists of a contactor with a working voltage at terminal A₁ of 220 V_{AC} and a manual motor starter as a safety for the induction motor. The results of testing this sistem show that all sistem components can function properly with a supply voltage according to specifications, namely the working voltage at the L₁ PLC terminal is 241.1 V_{AC}, the voltage on the ON pushbutton control sistem is 24.53 V_{DC} and the OFF pushbutton is 24.6 V_{DC}. The working voltage on the power sistem at the contactor A₁ terminal is 241.1 V_{AC}.

Keywords: PLC, Induction Motor, Star-Delta, Voltage

I. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya tuntutan dunia industri terhadap target produksi yang tinggi, proses produksi yang cepat, serta tuntutan meminimalisir *downtime* sistem yang mungkin terjadi dalam siklus produksi, maka setiap perusahaan berusaha untuk meningkatkan kinerja perangkat operasionalnya

dengan memanfaatkan teknologi terkini. Dukungan sistem yang mampu melakukan pekerjaan dengan cepat, efisien, dengan menerapkan sistem otomasi dalam proses produksi memicu sector industri berusaha menerapkan teknologi terkini dalam proses produksinya, terutama pada sector manufaktur atau bidang lainnya yang masih mengandalkan sistem kendali konvensional sebagai

penunjang proses produksi. Berdasarkan data yang dirilis oleh (M.Chui, J.Manyika, & M.Miremadi, 2022), teknologi saat ini dapat mengotomatiskan 45% aktivitas yang biasanya dilakukan oleh tenaga manusia, dimana sekitar 60% dari semua pekerjaan atau aktifitas yang sifatnya konsisten, 30% atau lebih dapat diotomatisasi. Hal ini salah satunya dengan penerapan teknologi sistem kendali mesin, yang dapat memberikan peningkatan kuantitas dan kualitas hasil produksi, menghemat biaya operasional maupun perawatan mesin, dan pada akhirnya mampu meningkatkan daya saing industri.

Permasalahan keamanan sistem pada suatu sistem kendali merupakan faktor utama yang harus dipertimbangkan, karena hal tersebut tidak hanya berkaitan dengan keselamatan operator mesin tetapi juga keamanan mesin yang dikendalikan. Dengan keamanan sistem kendali yang baik maka apabila terdapat kegagalan fungsi mesin, dengan cepat dapat diatasi menggunakan perangkat keamanan yang sudah terpasang pada sistem kendali, dan dapat menekan kemungkinan *downtime sistem* dalam waktu yang lama. Disamping itu, penggunaan otomasi sistem kendali memungkinkan perancangan program dan pengoperasian sistem yang lebih mudah dibanding sistem konvensional.

Pengertian PLC (*Programmable Logic Controller*) telah dijelaskan dalam penelitian yang dibuat oleh M. G. Hudedmani et.al. (Hudedmani, R, Kabberalli, & Hittalamani, 2017), dimana penelitian ini menjelaskan tentang penggunaan PLC yang merupakan pusat pengendali yang biasa digunakan dalam dunia industri. PLC terdiri dari unit pemrosesan pusat (CPU), memori, dan modul I/O. PLC juga dapat digunakan untuk mengatur waktu serta mengatur sebuah urutan kerja. Sistem PLC besar dapat mengatur seluruh otomasi pabrik, sedangkan sistem PLC kecil hanya mampu mengontrol pemesinan skala menengah.

Terdapat beberapa penelitian yang membahas tentang sistem otomasi yang mengubah sistem kendali konvensional menjadi sistem kendali otomatis, khususnya pada sistem kendali motor induksi star delta. Pada penelitian yang dilakukan oleh A. Kurniawan et.al (Kurniawan & Yandri, 2020) dijabarkan mengenai motor induksi star-delta. Dengan menggunakan metode penelitian kuantitatif berdasarkan observasi data, dihasilkan kesimpulan bahwa motor induksi merupakan motor yang arus rotornya bukan diperoleh dari sumber listrik melainkan arus yang terinduksi karena adanya perbedaan relative putaran rotor dengan medan putar. Pada penelitian yang dilakukan oleh L. Hardine et.al. (Hardine, Hidayat, & S. Hadikusuma, 2022), diusulkan rangkaian motor induksi tiga fasa

metode star delta terdiri dari tiga kontaktor, dimana kontaktor satu dan kontaktor tiga berfungsi untuk menjalankan motor dalam mode star sedangkan kontaktor satu dan dua berfungsi untuk menjalankan motor secara delta.

Desain konfigurasi star-delta sendiri telah di bahas dalam penelitian oleh S. Mukundan et.al. (Mukundan, Dhulipati, Feng, Tjong, & C. Kar, Modeling and Analysis of Novel Star-Delta Winding Configuration with Odd Slot Numbers for Reduced Space Harmonics Using Winding Space Function, 2019) dan S. M. Raziee et.al (Raziee, Misir, & Ponick, 2017), dimana penelitian ini berfokus pada metode pemodelan dan analisis, yang kesimpulannya adalah belitan star-delta gabungan tiga fase hanya berfokus pada nomor genap atau kelipatan 6 konvensional dengan perbedaan fase 30° antara set terhubung star dan delta. Faktor belitan dihitung untuk belitan star-delta gabungan terkonsentrasi menggunakan diagram fasor, keuntungan dari gabungan belitan star-delta adalah dapat menghemat bahan konduktor, namun terdapat juga kerugiannya yang akan berdampak pada arus magnet permanen karena mengubah kandungan harmonik medan celah udara. Selain itu penelitian (A.Elbani, 2011) bertujuan merancang sebuah sistem kendali yang lebih efisien, aman dan mudah dioperasikan dengan menggunakan PLC (*Programmable Logic Control*) yang memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibanding sistem pengendali konvensional.

Dari beberapa penelitian sebelumnya sebagaimana yang telah diuraikan di atas, terlihat bahwa konsep dasar, pemodelan, dan studi eksperimen terkait sistem pengendali motor induksi dengan metode star menggunakan kontrol PLC telah banyak dikembangkan oleh peneliti sebelumnya. Masih terdapat ruang pengembangan untuk melengkapi batasan rancangan alat yang diusulkan oleh penelitian sebelumnya sekaligus menjadi potensi untuk penelitian selanjutnya, salah satu diantaranya adalah pengembangan sistem keamanan rangkaian kendali motor induksi Star Delta yang digunakan dalam industri, dimana dalam perancangan program maupun pengoperasiannya perlu mempertimbangkan metode yang mudah dalam implementasinya.

Berdasarkan kondisi tersebut maka penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem pengendali perpindahan hubungan star delta pada motor induksi, dengan merubah dari sistem konvensional menjadi sistem otomatis berbasis PLC, dimana tujuan akhir dari penelitian ini adalah melengkapi solusi penelitian-penelitian sebelumnya, dengan penekanan memberikan usulan

baru dalam hal sistem keamanan rangkaian kendali yang memiliki kemudahan dalam hal perancangan program maupun pengoperasiannya.

II. METODE

Motor Induksi Tiga Fasa

Penerapan motor listrik terutama motor induksi telah banyak digunakan dalam dunia industri (Eriyadi & I.M.P.Putra, 2020). Motor merupakan mesin yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dalam penerapannya, salah satu motor listrik yang banyak digunakan ialah motor induksi, mesin yang bekerja secara asinkronous karena mesin ini beroperasi pada kecepatan di bawah kecepatan sinkron. Prinsip kerja motor induksi tiga fasa didasari Hukum Faraday, yaitu tegangan induksi ditimbulkan oleh perubahan induksi magnetik pada suatu lilitan (Kurniawan & Yandri, 2020). Sumber tegangan tiga fasa apabila disambungkan pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan (rpm) sebagaimana yang dijelaskan oleh persamaan 2.1 berikut:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \tag{2.1}$$

Dimana:

- N_s = Kecepatan Putar (Rpm)
- f = Frekuensi (Hz)
- 120 = Besar sudut fasa (120°)
- P = Jumlah kutub gulungan (Pole)

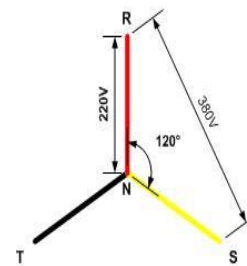
Pada stator terdapat medan putar yang akan memotong batang konduktor pada rotor. Hal ini mengakibatkan pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi yang akan menghasilkan arus (I), dimana batang konduktor merupakan rangkaian tertutup. Arus yang dihasilkan pada rangkaian tertutup tersebut akan menimbulkan Gaya (F) yang ditimbulkan pada medan magnet. Jika kopel awal yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk mengangkat kopel beban, maka rotor berputar searah dengan medan putar stator. Medan putar stator yang memotong batang konduktor (rotor), akan menimbulkan GGL induksi. Untuk menimbulkan GGL induksi tersebut, dibutuhkan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan berputar rotor (N_r), yang dikenal dengan Slip (s) sebagaimana dinyatakan pada persamaan 2.2 berikut:

$$S = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \times 100\% \tag{2.2}$$

Jika nilai N_r sama dengan nilai N_s ($N_r = N_s$), tidak akan timbul GGL induksi dan tidak ada arus listrik yang mengalir pada batang konduktor (rotor), maka kopel tidak akan dihasilkan. Konsep ini dikenal juga sebagai motor tak serempak atau asinkron (Berlianti, 2015).

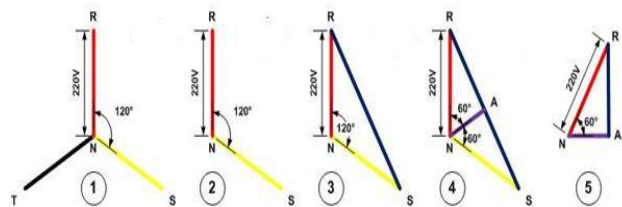
Tegangan Tiga Fasa

Tegangan tiga fasa dapat digambarkan berupa tiga garis dengan satu ujung yang saling bertemu, membentuk sudut 120° , yang merupakan beda antar fasa ketiga sudutnya sebagaimana yang digambarkan pada Gambar. 1 (Azrul, 2015).



Gambar 1. Konfigurasi tegangan tiga fasa (Azrul, 2015)

Tegangan tiga fasa memiliki besar $380 V_{AC}$, besar tegangan dapat diperoleh melalui persamaan yang dijelaskan melalui Gambar. 2



Gambar 2. Besar tegangan tiga fasa (Azrul, 2015)

- Gambar 2.1 adalah representasi dari tegangan tiga fasa dan netral, dimana tegangan fasa ke netral adalah 220V ($V_{RN} = 220V, V_{SN} = 220V, V_{TN} = 220V$)
- Gambar 2.2 merupakan potongan dua buah fasa, dimana antara dua fasa berbeda sudut 120° .
- Gambar 2.3 adalah garis lurus dari R ke S, yang merepresentasikan tegangan antar fasa atau V_{RS} .
- Gambar 2.4 menggambarkan bidang segitiga RSN yang dibagi dua dengan menarik garis NA, sehingga membentuk dua buah segitiga dengan bentuk dan sudut yang sama (sudut $RNA = \text{sudut } SNA$), yaitu sebesar 60° .
- Gambar 2.5 merupakan potongan segitiga RNA dari gambar 2.4 yang akan menjadi

perhitungan dasar terbentuknya besar tegangan tiga fasa 380 V_{AC}.

Hubungan STAR DELTA Seimbang

Sistem hubungan Star Delta yang seimbang terdiri dari sumber hubungan Star yang memberikan suplai tegangan pada beban yang terhubung Delta, yang direpresentasikan dengan persamaan 2.3 berikut:

$$V_{an}=V_p\angle 0^\circ, V_{bn}=V_p\angle -120^\circ, V_{cn}=V_p\angle -120^\circ \quad (2.3)$$

Dengan tegangan pada jalur masing - masing adalah:

$$V_{ab} = \sqrt{3} V_p \angle 30^\circ = V_{AB} \quad (2.4)$$

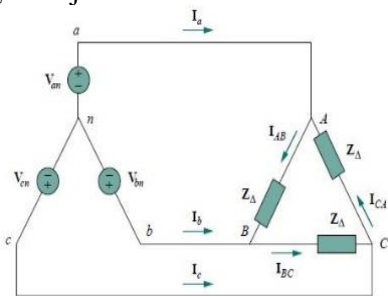
$$V_{bc} = \sqrt{3} V_p \angle -90^\circ = V_{BC} \quad (2.5)$$

$$V_{ca} = \sqrt{3} V_p \angle -210^\circ = V_{CA} \quad (2.6)$$

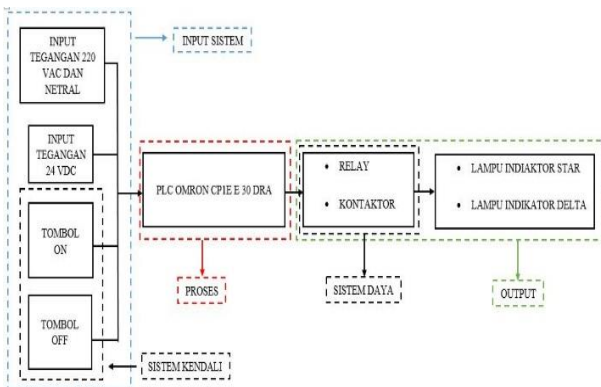
Persamaan di atas menunjukkan bahwa jalur tegangan sama dengan tegangan di seluruh beban impedansi untuk konfigurasi sistem ini, sehingga arus fasa dapat didefinisikan sebagai:

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_\Delta} = I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z_\Delta} = I_{CA} = \frac{V_{CA}}{Z_\Delta} \quad (2.7)$$

Arus I_{AB}, I_{BC}, dan I_{CA} memiliki besaran yang sama tetapi masing - masing arus keluar dari fasa oleh sudut 120°. Sambungan Star Delta yang seimbang ditunjukkan melalui Gambar. 3 berikut.



Gambar 3. Sambungan Star Delta seimbang (Alexander & Sadiku, 2009)



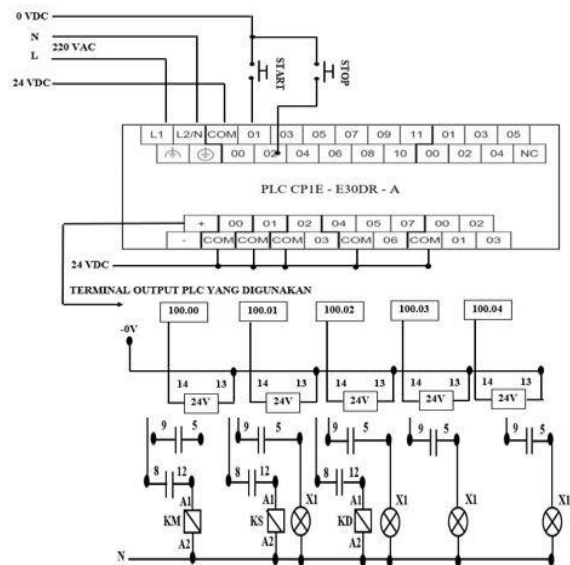
Gambar 4. Diagram blok sistem PLC OMRON CP1E untuk kendali motor induksi Star Delta

Perancangan Sistem

Sistem kendali motor induksi star delta berbasis PLC dilengkapi dengan beberapa rangkaian pengamanan sistem, sebagaimana yang dijabarkan pada Gambar.4.

Sistem ini adalah sistem pemutus daya dengan tombol penghentian darurat (*emergency stop*), sistem pemutus daya untuk pengamanan kontaktor dengan terminal (*safety interlock*), dan sistem pengamanan untuk kondisi abnormal motor induksi dengan perangkat manual motor stater.

Sistem kendali motor induksi star delta berbasis PLC ini mendapat catu daya jala - jala PLN 220V_{AC} yang memberikan tegangan kerja sebesar 220 V_{AC} melalui terminal L1 dan L2/N. Selain itu juga ada sumber tegangan dari catu daya tambahan (*external power supply*) 24 V_{AC} untuk memberi tegangan pada masukkan (input) PLC melalui terminal (COM). Ketika tombol ON ditekan, maka akan memberikan sinyal masukkan (*input*) PLC dan selanjutnya PLC akan bekerja menjalankan sistem sesuai dengan diagram ladder yang telah dirancang. Selanjutnya akan dihasilkan sinyal keluaran (*output*) PLC dan mengaktifkan komponen keluaran (*output*) yang selanjutnya akan mengaktifkan sistem secara keseluruhan. Jika tombol Stop ditekan maka secara otomatis semua proses dalam sistem kendali akan dihentikan.



Gambar 5. Rancangan desain kelistrikan sistem PLC OMRON CP1E untuk kendali motor induksi Star Delta yang diusulkan

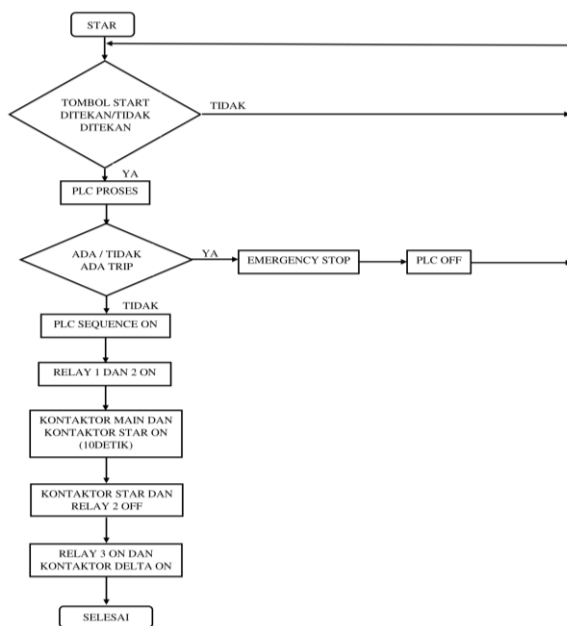
Desain Kelistrikan

Secara detail rancangan sistem kelistrikan yang diusulkan dalam penelitian ini adalah sebagaimana yang dijelaskan pada Gambar 5.

Sistem kendali motor induksi star delta berbasis PLC yang diusulkan ini menggunakan sumber listrik 220 V_{AC} dari tegangan satu fasa jaringan listrik PLN yang merupakan sumber tegangan utama dan tegangan 24 V_{DC} at sebagai sumber keluaran pada PLC. Sumber arus 220 V_{AC} memberi tegangan pada PLC, kontaktor, dan lampu indicator, sedangkan sumber tegangan 24 V_{DC} berfungsi memberi tegangan pada tombol tekan dan relay.

Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem yang diusulkan sebagaimana yang dijelaskan pada Gambar 6 berikut.



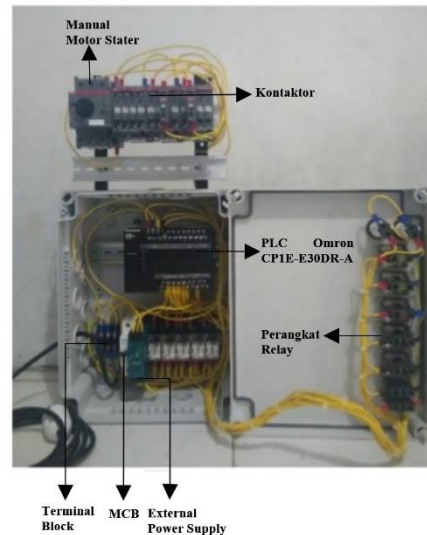
Gambar 6. Diagram alir sistem PLC OMRON CP1E untuk kendali motor induksi Star Delta

Diagram alir di atas menjelaskan cara kerja program pada PLC untuk mengendalikan masukan maupun keluaran. Sistem akan diaktifkan dengan menekan tombol STAR. Selanjutnya PLC akan memproses sesuai dengan instruksi - instruksi input yang diberikan. Jika selama sistem memproses teridentifikasi adanya gangguan yang dikenal berupa munculnya “trip” pada sistem, maka sistem akan menjalankan proses *emergency stop* yang mengakibatkan proses PLC akan terhenti. Hal ini merupakan bagian dari proses identifikasi dan proteksi sistem keamanan, yang menjadi novelti pada sistem yang diusulkan ini. Jika tidak teridentifikasi adanya gangguan/trip, maka PLC akan melanjutkan proses dengan aktivasi proses

PLC *sequence*, aktivasi relay-1 dan relay-2. Aktivasi relay ini akan mengaktifkan kontaktor utama (*main contactor*) dan kontaktor star selama 10 detik, dan selanjutnya akan mengaktifkan relay-3 dan kontaktor start ON.

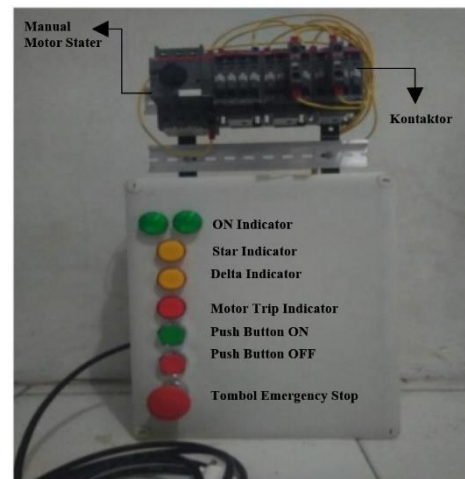
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara keseluruhan, tampilan desain fisik sistem PLC OMRON CP1E kendali motor induksi Star Delta yang diusulkan adalah sebagaimana yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan dalam rancangan sistem PLC OMRON CP1E kendali motor induksi Star Delta

Pada bagian luar sistem dilengkapi oleh beberapa indikator dan tombol tekan yaitu: Indikator ON, Indikator Star, Indokator Delta, Indikator Motor Trip, *Push button* ON/OFF, serta tombol *emergency stop* seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan dalam rancangan sistem PLC OMRON CP1E kendali motor induksi Star Delta

Sistem bekerja dengan menghubungkannya dengan jala-jala PLN 220 V_{AC}. Dengan formasi pemasangan komponen seperti ini, diharapkan dapat memberikan gambaran cara kerja sistem yang jelas pada saat sistem dijalankan. Selanjutnya setiap bagian pada sistem ini akan diuji untuk melihat sejauh mana setiap bagian dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsinya. Adapun tahapan pengujian meliputi: (1) pengujian tegangan, (2) pengujian durabilitas komponen, (3) pengujian perangkat lunak, (4) pengujian komponen sistem pengaman, dan (5) pengujian keseluruhan sistem kendali.

Pengujian Tegangan Power Supply

Pengujian tahap ini meliputi pengujian catu daya dari jala-jala PLN yang terhubung ke terminal L₁ PLC dan pengujian pada catu daya luar (*external power supply*) yang dilakukan dengan cara mengukur tegangan pada terminal masukkan dan keluaran catu daya luar. Tabel. Hasil pengujian tegangan power supply pada sistem kendali motor induksi star delta berbasis PLC yang diusulkan dijelaskan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tegangan Power Supply

No	Pengujian Tegangan	Standar pengujian	Hasil pengujian
1	Input PLC (terminal L ₁ dan L ₂ /N)	220 V _{AC}	241,1 V _{AC}
2	Input catu daya luar	220 V _{AC}	241,2 V _{AC}
3	Output catu daya luar	24 V _{DC}	24,84 V _{DC}

Pengujian Komponen Masukan (input) PLC

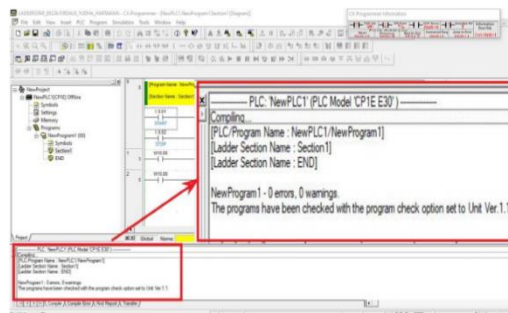
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bahwa komponen dapat bekerja sesuai dengan kondisi tegangan kerja terminal PLC sebesar 24 V_{DC}. Tegangan yang masuk setelah tombol ON ditekan adalah sebesar 24 V_{DC} dari kondisi normal terbuka (*normally open*) menjadi normal tertutup (*normally closed*). Tombol tekan OFF berfungsi untuk memutus tegangan, dimana pada kondisi terminal pada tombol OFF ini akan merubah switch dari normal tertutup menjadi normal terbuka. Adapun hasil pengujian komponen masukan sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Pengujian Perangkat Lunak

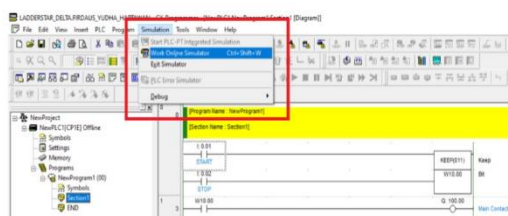
Pengujian perangkat lunak pada sistem ini meliputi: (1) Pengujian *Error* Diagram Ladder (2) Pengujian Simulasi Proses Kerja Diagram Ladder; (3) Pengujian Urutan Proses Kerja Diagram Ladder. Gambar 9 menunjukkan tampilan pengujian perangkat lunak PLC OMRON CP1E.

Tabel 2. Hasil Pengujian Komponen Input PLC

No	Input PLC	Alamat input PLC	Standar Nilai Tegangan	Nilai Output Tegangan	
				Kondisi ditekan	Kondisi tidak ditekan
1	ON	0.01	24 V _{DC}	24,53 V _{DC}	0 V _{DC}
2	OFF	0.02	24 V _{DC}	0 V _{DC}	24,60 V _{DC}



(a) Pengujian Error Diagram Ladder



(b) Pengujian Simulasi Proses Kerja Diagram Ladder



(c) Pengujian urutan proses kerja diagram ladder

Gambar 9. Tampilan pengujian perangkat lunak PLC OMRON CP1E

Pengujian perangkat lunak ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara diagram ladder dengan sistem yang akan dijalankan, dengan hasil keluaran pengujian.

Pengujian Komponen Sistem Pengaman

Pengujian perangkat pengaman bertujuan untuk memastikan sistem atau komponen pengaman dapat berjalan sesuai fungsinya ketika terjadi kondisi abnormal pada sistem kendali. Komponen yang diuji adalah tombol berhenti darurat (*emergency stop*), terminal pengaman kontaktor (*safety interlock*) dan manual motor

starter sebagaimana yang dijelaskan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Komponen Pengaman

No	Komponen Pengujian	Keterangan	Hasil Pengujian
1	Pengujian Tombol berhenti darurat (<i>emergency stop</i>)	Saat tombol berhenti darurat ditekan, rangkaian akan menjadi normal terbuka (<i>normally open</i>) sehingga dapat memutuskan arus listrik 220 V _{AC} pada terminal masukkan L ₁ PLC.	OK
2	Terminal pengaman kontaktor (<i>safety interlock</i>)	Terminal pengaman kontaktor (<i>safety interlock</i>) mempunyai dua bush kontak NC (<i>Normally closed</i>): <ul style="list-style-type: none"> • Kontak NC delta terhubung ke koil A₁ kontaktor star. • Kontak NC star terhubung ke koil A₁ kontaktor delta. Tujuan dipasang safety interlock adalah agar tegangan tidak masuk ketika kontaktor star ON dan kontaktor delta ON, guna menghindari kontaktor star dan delta ON secara bersama.	OK
3	Manual motor starter	Berfungsi untuk memutuskan arus jika terjadi <i>overload</i> atau trip pada motor induksi. Jika tuas di geser dari kondisi 1 ke 0, maka lampu indicator merah akan menyala dan sistem pengaman akan aktif.	OK

Berdasarkan data pengujian Komponen Pengaman, terlihat bahwa sistem keamanan

dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian tombol berhenti darurat, terminal pengaman kontaktor, dan manual motor stater yang berfungsi memutuskan arus jika terjadi *overload* atau trip pada pada sistem ini dapat bekerja sesuai perancangan. Hal ini sekaligus melengkapi penelitian sebelumnya (A.Elbani, 2011) yang membahas terkait komponen pengamanan lebih berfokus pada fungsi pengamanan arus lebih (*overload protection/ OLP*).

Pengujian Komponen Keluaran (Output) PLC

Tujuan dari pengujian komponen keluaran adalah memastikan bahwa tegangan pada terminal keluaran (output) adalah 24 V_{DC}. Keluaran tegangan 24 V_{DC} dari PLC ini selanjutnya disambungkan ke komponen keluaran (output) yaitu relay, sebagaimana yang dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Komponen Output PLC

No	Alamat program	Output	V _{DC} (Volt)	Perangkat	V _{AC} (Volt)
1	Q : 100.00	Relay 1	24,50	Main Kontaktor (A ₁)	241,1
2	Q : 100.01	Relay 2	24,48	Kontaktor star (A ₁) + lampu indikator (X ₁)	241,1
3	Q : 100.02	Relay 3	24,48	Kontaktor delta (A ₁) + lampu indikator (X ₁)	241,1
4	Q : 100.03	Relay 4	24,50	Lampu pilot flip flop 1 (X ₁)	241,1
5	Q : 100.04	Relay 5	24,50	Lampu pilot flip flop 2 (X ₁)	241,1

Pengujian Keseluruhan Sistem Kendali

Pengujian keseluruhan fungsi sistem kendali motor induksi star delta berbasis PLC ini dilaksanakan setelah masing-masing sistem dan komponen pendukung diuji, yang meliputi pengujian sistem kendali (komponen tombol tekan ON dan OFF), pengujian komponen masukkan PLC, dan komponen keluaran PLC, pengujian perangkat lunak, dan pengujian komponen sistem pengaman. Adapun hasil akhir dari pengujian keseluruhan adalah sebagaimana yang dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

No	Perintah	Keterangan	Hasil Pengujian
1	Start	Saat tombol ON ditekan, maka tegangan 24V _{DC} masuk ke terminal 01 PLC. Sistem akan aktif ditandai dengan lampu indikator output PLC, relay, dan panel menyala.	OK
2	Stop	<ul style="list-style-type: none"> • Saat tombol OFF ditekan, maka terminal tombol OFF akan berubah dari normal tertutup menjadi normal terbuka, sehingga tegangan 24 V_{DC} pada terminal 02 PLC terputus dan sistem akan berhenti. Lampu indikator panel output PLC dan relay akan mati. • Pada kondisi ini sistem dalam keadaan siap (<i>ready</i>) dan sewaktu-waktu dapat dijalankan kembali. (lampu indikator <i>power</i> dan <i>run</i> pada PLC masih menyala). 	OK

Dari hasil pengujian sistem kendali motor induksi star delta berbasis PLC secara keseluruhan terlihat bahwa semua sistem dan komponen penyusun dapat berfungsi dengan baik. Proses kerja sistem sesuai dengan yang diharapkan, dimana jeda waktu perpindahan antara pengasutan star ke delta tepat sesuai dengan *set value* yang diatur yaitu 10 detik, dan tidak ada gangguan trip arus listrik pada saat sistem sedang berjalan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada gangguan atau kegagalan fungsi pada komponen pada saat sistem kendali motor induksi star delta dijalankan, dan juga tidak terdapat keabnormalan proses kerja secara keseluruhan.

V. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem yang diusulkan ini terlihat bahwa sistem kendali otomatis berbasis PLC dapat bekerja sesuai dengan desain/rancangan yang diharapkan. Perancangan sistem

kerja dapat dilakukan melalui PC (*personal computer*) atau laptop dengan bantuan perangkat lunak *CX Programmer*, dimana sistem ini dapat melakukan koreksi dan simulasi. Hasil perancangan sistem menunjukkan bahwa pada perancangan terdiri dari komponen utama PLC OMRON CP1E E-30DR-A dengan tegangan kerja terukur 241,1 V_{AC} dan terdapat dua sistem utama yaitu sistem kendali yang terdiri dari tombol tekan ON dan tombol tekan OFF yang memiliki tegangan kerja 24 V_{DC}. Semua komponen mendapatkan suplai tegangan yang sesuai spesifikasi, diantaranya tegangan kerja pada terminal L₁ PLC sebesar 241,1 V_{AC}, tegangan pada sistem kendali tombol tekan ON sebesar 24,53 V_{DC} dan tombol tekan OFF sebesar 24,60 V_{DC}. Tegangan kerja pada sistem daya pada terminal A₁ kontaktor sebesar 241,1 V_{AC}. Dari hasil pengujian komponen pengaman yang meliputi pengujian tombol berhenti darurat (*emergency stop*), terminal pengaman kontaktor, dan manual motor starter (*safety interlock*) dapat bekerja dengan baik. Hal ini sesuai dengan tujuan pembuatan alat ini yaitu menghasilkan hal sistem keamanan rangkaian kendali yang memiliki kemudahan dalam hal perancangan program maupun pengoperasiannya. Pembahasan pengujian komponen pengaman dilakukan lebih detail guna melengkapi metode penelitian sebelumnya yang telah ada.

Saran

Untuk pengembangan sistem ke depan disarankan untuk menggunakan PLC dengan kapasitas terminal masukkan (*input*) dan keluaran (*output*) yang lebih besar untuk meningkatkan kemampuan kontrol sistem kendali yang lebih tinggi pada motor induksi. Perancangan program logika dan perancangan diagram ladder masih dimungkinkan untuk didesain lebih efektif untuk menghemat jumlah rung, sehingga proses *scanner* program pada PC (*personal computer*) atau laptop tidak menjadi lambat. Selain itu penempatan komponen disarankan menggunakan box panel dengan ukuran yang lebih besar, dan jika perlu diadakan pengetesan di lapangan (pabrik).

VI. DAFTAR PUSTAKA

- A.El bani. (2011). Implementasi Pengendai PLC pada Sistem Motor Tiga Fasa Untuk Star Y/A. *Jurnal Teknik Elektro ELKHA*, 18-23.
- Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. (2009). *Fundamentals of Electric Circuits four Edition*. New York: The McGraww-Hill Companies.
- Arzaq, H. M., Joni, K., Alfita, R., & Ubaidillah, A. (2021). Kendali Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller

- Dengan Metode Star. *Procedia of Engineering and Life Science*, 1(1).
- Azrul. (2015, Maret 1). *Akar Tiga pada Tegangan Tiga Fasa, Dari Mana?* Retrieved from TeknisiInstrument: <https://www.teknisiinstrument.com/2015/03/01/akar-tiga-dari-mana/>
- Berlianti, R. (2015). Analisis Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi.
- Eriyadi, M., & I.M.P.Putra. (2020). Implementasi Pengatur Kecepatan Ganda Motor pada Mesin Conveyor Penyortir Logam Otomatis. *Jurnal Teknologi Terapan (JTT)*, 32-38.
- Fajri, A., & Yongkimandalan, N. (2022). Rancang Bangun Sistem Kendali Motor Induksi 380 VAC menggunakan Sumber Listrik 220. *Jurnal MEDiatek*, 22-30.
- Hardine, L., Hidayat, R., & S. Hadikusuma, R. (2022). Analysis of The Influence of Star Delta Sistem in Reduce Electric Starting Surge in 3 Phase Motors. *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 16(2), 208-214.
- Hardine, L., Santoso, D. B., & Hadikusuma, R. S. (2022). Analysis of The Influence of Star Delta Sistem in Reduce Electric Starting Surge in 3 Phase Motors. *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 208-214.
- Hudedmani, M. G., R. M. U., Kabberalli, S. K., & Hittalamani, R. (2017). Programmable Logic Controller (PLC) in Automation. *Advanced Journal of Graduate Research*, 2(1), 37-45.
- Kurniawan, A., & Yandri, W. (2020). Operasi Motor Listrik Dengan Sistem Kendali Star Delta Menggunakan PLC ZELIO SR3B101FU. *Ensiklopedia of Journa*, 2(5).
- M.Chui, J.Manyika, & M.Miremadi. (2022, Mei 1). *Where machines could replace humans—and where they can't (yet)*. Retrieved from Mckinsey Digital: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/where-machines-could-replace-humans-and-where-they-cant-yet>
- Muhaimin, & Zamzam. (2018). Perancangan Pengereman Dinamik pada Motor Induksi 3 Fasa dengan Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC). *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 134-140.
- Mukundan, S., Dhulipati, H., Feng, G., Tjong, J., & C. Kar, N. (2019). Modeling and Analysis of Novel Star-Delta Winding Configuration with Odd Slot Numbers for Reduced Space Harmonics Using Winding Function. *2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*. San Diego, CA, USA.
- Raziee, S. M., Misir, O., & Ponick, B. (2017). Combined Star-Delta Winding Analysis. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(1), 383 - 394.
- Sultan, Muljono, A. B., & Ari Nnartha, I. M. (2017). Visualisasi Pengasutan Motor Induksi Tiga Fase Berbasis Programmable Logic Control. *DIELEKTRIKA*, 58-69.