Rancang Bangun Panel Wye-Delta Berbasis ESP32 untuk Simulasi Pengasutan Motor Tiga Fasa dengan Kendali Manual dan IoT

Ika Puspita[1], Rhadi Afdhal Ansari[2], dan Muhammad Thahir[3], Muhira Dzar Faraby[4]

[1]Program Studi D4 Tekologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Indonesia

[2,3,4]Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Indonesia

Coprespondent Author : ikapuspita@poliupg.ac.id

***Abstract* — This paper presents the design of an ESP32-based Wye-Delta control panel intended as an educational prototype for three-phase motor starting. The system integrates conventional contactor control and digital control through two operating paths: manual pushbuttons on the panel and Internet of Things (IoT) commands from a smartphone over Wi-Fi. The control architecture uses three contactors, namely KM1 as the main contactor, KM2 as the Wye contactor, and KM3 as the Delta contactor, with electrical/mechanical interlocking and a microcontroller-based state machine. During starting, KM1 and KM2 are energized for a 7 s Wye interval, followed by a 250 ms dead time before KM3 is energized. Theoretical analysis shows that the phase voltage in Wye is reduced to VL/sqrt(3), giving an ideal line-starting-current ratio of approximately one-third of the Delta condition, with starting torque also reduced to approximately one-third. The functional design prioritizes Stop/Emergency Stop commands and prevents KM2 and KM3 from being active simultaneously. Because the available project data do not provide measured motor current, IoT latency, or protection-trip data, this paper does not claim experimentally verified current reduction or field reliability. The contribution is a safety-oriented educational architecture that combines a conventional Wye-Delta panel with ESP32-based manual/IoT control in a single sequential state machine.**

***Keyword* — ESP32, Interlock, IoT, motor induksi, Wye-Delta**

Abstrak — Paper ini menyajikan perancangan panel Wye-Delta berbasis ESP32 sebagai purwarupa pendidikan untuk mempelajari pengasutan motor tiga fasa. Sistem mengintegrasikan kendali kontaktor konvensional dan kendali digital melalui dua jalur operasi, yaitu pushbutton manual pada panel dan perintah Internet of Things (IoT) dari smartphone melalui Wi-Fi. Arsitektur kendali menggunakan tiga kontaktor, yakni KM1 sebagai kontaktor utama, KM2 sebagai kontaktor Wye, dan KM3 sebagai kontaktor Delta, yang dilengkapi interlock elektrik/mekanik serta state machine pada mikrokontroler. Pada proses start, KM1 dan KM2 aktif selama interval Wye 7 s, dilanjutkan dead time 250 ms sebelum KM3 diaktifkan. Secara teoritis, tegangan fasa pada konfigurasi Wye menjadi VL/sqrt(3) sehingga arus line saat start idealnya sekitar sepertiga kondisi Delta, dengan konsekuensi torsi awal juga sekitar sepertiga. Logika kendali menempatkan perintah Stop/Emergency Stop sebagai prioritas dan mencegah KM2 serta KM3 aktif bersamaan. Karena data proyek belum menyediakan pengukuran arus motor, latensi IoT, maupun trip proteksi, paper ini tidak mengklaim penurunan arus terukur atau reliabilitas lapangan. Kontribusi utama adalah arsitektur pembelajaran berorientasi keselamatan yang menggabungkan panel Wye-Delta konvensional dan kendali manual/IoT berbasis ESP32 dalam satu urutan kendali sekuensial

Kata kunci — Wye-Delta, ESP32, Internet of Things, Motor Tiga Fasa, Panel Kontrol.

I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa banyak digunakan pada sistem penggerak karena konstruksinya sederhana, kuat, dan sesuai untuk operasi industri. Tantangan utama muncul pada saat pengasutan karena arus masuk dapat jauh lebih tinggi daripada arus keadaan tunak. Metode Wye-Delta masih digunakan sebagai salah satu bentuk reduced-voltage starting karena mampu membatasi arus awal dengan menurunkan tegangan yang diterima setiap belitan selama tahap Wye [1], [2]. Studi komparatif dan implementasi panel menunjukkan bahwa pemilihan metode pengasutan, waktu transisi, serta koordinasi kontaktor berpengaruh langsung terhadap performa awal motor dan keandalan rangkaian [1]–[3].

Pada sisi kendali, rangkaian Wye-Delta konvensional dibentuk oleh kontaktor utama, kontaktor Wye, kontaktor Delta, timer, proteksi beban lebih, serta interlock untuk mencegah kontaktor Wye dan Delta aktif secara bersamaan. Implementasi manual dan otomatis menggunakan PLC telah dilaporkan untuk mengurangi ketergantungan pada urutan operasi manusia [3]. Perancangan panel motor control centre juga menekankan pentingnya pemilihan kontaktor, proteksi, penghantar, dan susunan panel sesuai karakteristik beban [6]. Pada level perangkat, IEC 60947-4-1:2023 mengatur karakteristik kontaktor dan motor-starter tegangan rendah [10], sedangkan IEC 60204-1 menempatkan emergency stop, proteksi rangkaian kendali, dan dokumentasi kelistrikan sebagai unsur penting pada peralatan mesin [11].

Perkembangan IoT memperluas fungsi panel motor dari kendali lokal menuju kendali dan pemantauan jarak jauh. Suharso et al. mengintegrasikan ESP32 dan smartphone untuk mengendalikan pengasutan DOL dan Star-Delta [4], sedangkan Hubais et al. mengembangkan IoT Star-Delta starter yang memungkinkan pengoperasian, pemantauan status, dan pengaturan waktu transisi melalui peramban [5]. Penelitian lain menunjukkan bahwa ESP32 dapat digunakan untuk pemantauan panel motor berbasis jaringan dan integrasi antarmuka web [7]–[9]. Dengan demikian, penggunaan ESP32 atau IoT pada starter Wye-Delta bukan lagi konsep baru.

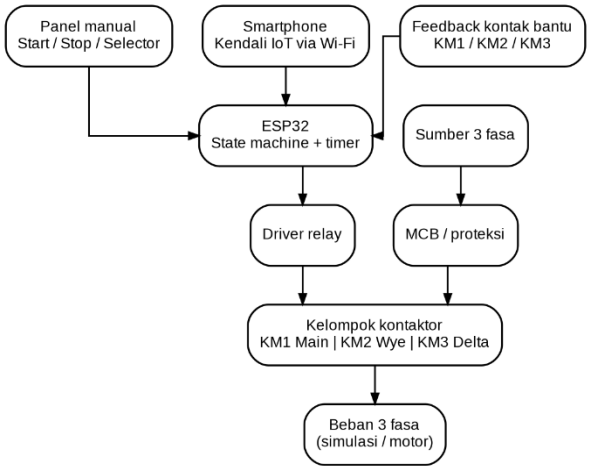
Celah yang diangkat pada paper ini bersifat implementatif dan pedagogis. Proyek ini menargetkan purwarupa pendidikan yang menggabungkan panel Wye-Delta konvensional, kendali manual, dan kendali IoT dalam satu sistem berbiaya relatif rendah. Fokus paper bukan membuktikan keunggulan Wye-Delta terhadap metode

starting lain, tetapi mengembangkan arsitektur state machine yang konsisten, memperjelas prioritas Stop/Emergency Stop, mengatur dead time transisi, dan menempatkan interlock KM2-KM3 sebagai syarat keselamatan. Beban pada proyek dibatasi pada beban simulatif atau motor berdaya kecil, sehingga analisis kinerja motor dinyatakan secara teoritis dan tidak diklaim sebagai hasil pengukuran eksperimental.

II. METODOLOGI

A. Arsitektur Sistem

Metode yang digunakan adalah rancang bangun berbasis kebutuhan fungsional. Sistem dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem daya dan sistem kontrol. Sistem daya terdiri atas sumber tiga fasa, MCB/proteksi awal, tiga kontaktor KM1-KM3, serta beban tiga fasa. Sistem kontrol terdiri atas panel manual, ESP32, driver relay, masukan feedback kontak bantu, dan antarmuka IoT melalui Wi-Fi. ESP32 berfungsi sebagai pengendali sekuensial, timer, dan pengawas logika interlock. Arsitektur yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur sistem panel Wye-Delta berbasis ESP32 dengan kendali manual dan IoT.

B. Dasar Teori Wye-Delta

Pada konfigurasi Wye, setiap belitan menerima tegangan fasa yang lebih rendah daripada tegangan line. Dengan asumsi sistem seimbang, hubungan tegangan fasa terhadap tegangan line dinyatakan pada (1).

$$V_{\mathrm{ph,Y}} = \frac{V_{\mathrm{L}}}{\sqrt{3}} \tag{1}$$

dengan Vph,Y adalah tegangan fasa pada hubungan Wye dan VL adalah tegangan line. Apabila impedansi belitan dianggap konstan, arus line pada pengasutan Wye idealnya menjadi sekitar sepertiga arus line yang akan muncul apabila motor langsung dihubungkan Delta pada tegangan line yang sama [1], [2]. Hubungan tersebut dapat ditulis sebagai (2).

$$\frac{I_{\mathrm{L,Y}}}{I_{\mathrm{L,\Delta}}} \approx \frac{1}{3} \tag{2}$$

Karena torsi elektromagnetik awal secara pendekatan berbanding dengan kuadrat tegangan fasa, torsi start pada hubungan Wye juga turun menjadi sekitar sepertiga torsi pada hubungan Delta, sebagaimana dinyatakan pada (3).

$$\frac{T_{\mathrm{st,Y}}}{T_{\mathrm{st,\Delta}}} \approx \left(\frac{V_{\mathrm{ph,Y}}}{V_{\mathrm{ph,\Delta}}}\right)^2 = \frac{1}{3} \tag{3}$$

Konsekuensi penting dari hubungan tersebut adalah bahwa Wye-Delta cocok untuk beban yang tidak memerlukan torsi awal sangat tinggi. Oleh sebab itu, pada purwarupa pendidikan ini penekanan utama diberikan pada urutan switching dan keselamatan kontaktor, bukan pada kemampuan menggerakkan beban mekanis berat.

C. Perancangan State Kendali

Logika kendali disusun sebagai state machine agar kombinasi kontaktor dapat dianalisis secara eksplisit. Empat keadaan utama digunakan, yaitu Siaga, Wye, Transisi, dan Delta. Nilai timer Wye dipilih 7 s mengikuti implementasi awal program, sedangkan jeda aman setelah KM2 dilepas sebelum KM3 aktif ditetapkan 250 ms. Jeda tersebut berfungsi mencegah overlap logika pada proses open transition dan memberikan waktu bagi kontaktor Wye untuk benar-benar lepas sebelum Delta diperintahkan aktif.

TABEL I
STATE KONTAKTOR PADA URUTAN PENGASUTAN WYE-DELTA

State	KM1	KM2	KM3	Keterangan
Siaga	OFF	OFF	OFF	Menunggu START
Wye	ON	ON	OFF	Timer 7 s
Transisi	ON	OFF	OFF	Dead time 250 ms
Delta	ON	OFF	ON	Operasi normal
Stop/E-Stop	OFF	OFF	OFF	Prioritas keselamatan

D. Kendali Manual, IoT, dan Prioritas Stop

Mode manual menerima perintah dari pushbutton Start dan Stop pada panel. Mode IoT menerima perintah dari smartphone melalui jaringan Wi-Fi. Selector mode digunakan untuk menentukan sumber perintah yang aktif sehingga dua antarmuka tidak memicu urutan yang bertentangan. Terlepas dari mode operasi, Stop dan Emergency Stop ditempatkan sebagai perintah prioritas yang memaksa seluruh kontaktor kembali ke keadaan OFF. Prinsip ini penting karena perintah jarak jauh tidak boleh mengalahkan kondisi keselamatan lokal. Konsep serupa berupa integrasi manual-otomatis maupun kontrol jarak jauh pada starter Wye-Delta telah dilaporkan pada [3]–[5], tetapi paper ini menekankan penyatuan dua jalur tersebut di dalam satu state machine berorientasi keselamatan.

E. Interlock dan Proteksi

Interlock dirancang pada dua lapisan. Lapisan pertama adalah interlock elektrik menggunakan kontak NC silang antara KM2 dan KM3. Lapisan kedua adalah interlock mekanis antar-kontaktor Wye dan Delta. Pada rancangan yang lebih lengkap, kontak bantu kontaktor dibaca sebagai feedback sehingga ESP32 dapat memverifikasi apakah perintah coil menghasilkan keadaan fisik yang sesuai. Emergency Stop dan overload relay diposisikan di jalur kontrol agar pemutusan tidak bergantung pada perangkat lunak. Pendekatan ini konsisten dengan prinsip penggunaan kontaktor dan motor-starter pada IEC 60947-4-1 [10] serta persyaratan fungsi emergency stop dan proteksi rangkaian kendali dalam IEC 60204-1 [11].

F. Prosedur Verifikasi

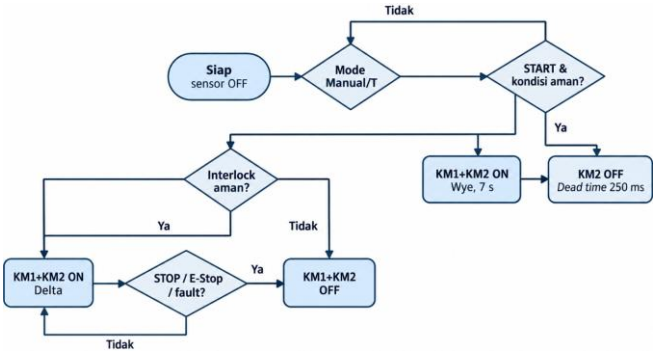
Karena data proyek belum menyediakan hasil eksperimen lengkap, verifikasi pada paper ini dibatasi pada desk-check rangkaian state dan konsistensi urutan kendali. Skenario diperiksa berdasarkan kombinasi perintah START/STOP, mode manual/IoT, akhir timer Wye, dead time, dan kondisi interlock. Kriteria aman ditetapkan sebagai: (1) KM2 dan KM3 tidak pernah ON bersamaan; (2) perintah Stop/Emergency Stop mengembalikan semua kontaktor ke OFF; (3) Delta hanya dapat aktif setelah state Wye selesai dan KM2 telah OFF; serta (4) kegagalan feedback harus menghambat perpindahan state. Pengukuran arus start, waktu respons jaringan, suhu, dan trip proteksi diposisikan sebagai pekerjaan lanjutan.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Perancangan Urutan Operasi

Hasil utama paper adalah arsitektur kendali sekuensial yang memisahkan sumber perintah dari state daya. Baik perintah manual maupun IoT hanya menghasilkan permintaan START/STOP, sedangkan keputusan kontaktor tetap ditentukan oleh state machine pada ESP32. Dengan struktur ini, antarmuka tidak dapat secara langsung mengaktifkan KM2 atau KM3 secara individual. Pembatasan tersebut mengurangi risiko kesalahan operator dan membuat interlock lebih mudah diverifikasi.

Flowchart hasil pengembangan ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah sistem berada pada keadaan siaga, mode operasi dipilih dan sistem menunggu perintah START. Apabila kondisi aman terpenuhi, KM1 dan KM2 aktif pada state Wye selama 7 s. Setelah timer selesai, KM2 dilepas, sistem menunggu 250 ms, kemudian memverifikasi interlock sebelum mengaktifkan KM3. Pada state Delta, sistem terus memantau Stop, Emergency Stop, dan fault. Setiap kondisi penghentian membawa sistem kembali ke keadaan semua kontaktor OFF.



Gambar 2. Flowchart state machine pengasutan Wye-Delta dengan prioritas Stop/Emergency Stop.

B. Analisis Teoritis Reduksi Arus Start

Berdasarkan (1)–(3), konfigurasi Wye mengurangi tegangan fasa menjadi sekitar 57,7% dari tegangan line. Dengan impedansi belitan yang sama, rasio arus line ideal antara Wye dan Delta adalah sekitar 0,333. Nilai ini sejalan dengan laporan eksperimental dan simulasi yang menunjukkan bahwa starter Wye-Delta dapat menurunkan arus masuk dibandingkan pengasutan langsung [1], [2]. Namun, angka sepertiga merupakan hubungan teoritis untuk kondisi ideal dan tidak memasukkan pengaruh impedansi sistem, slip, transien perpindahan, beban mekanis, maupun karakteristik kontaktor.

TABEL II
PERBANDINGAN TEORITIS KEADAAN WYE DAN DELTA

Parameter	Wye	Delta	Rasio Wye/Delta
Tegangan fasa	$V_L/\sqrt{3}$	V_L	0,577
Arus line start	$\approx I_{L,\Delta}/3$	$I_{L,\Delta}$	≈ 0,333
Torsi start	$\approx T_\Delta/3$	T_Δ	≈ 0,333

Karena purwarupa dapat menggunakan lampu tiga fasa atau motor simulatif berdaya kecil, paper ini tidak menyatakan bahwa rasio tersebut telah terukur pada alat. Pengujian motor nyata memerlukan pengukuran arus tiap fasa dengan alat ukur yang memiliki kemampuan menangkap inrush current, seperti power quality analyzer atau current logger. Studi terbaru menunjukkan bahwa evaluasi starter akan lebih kuat apabila arus transien dan keadaan tunak dibandingkan secara kuantitatif [1], [7].

C. Analisis Kendali Ganda dan Celah Penelitian

Penelitian terdahulu telah menggabungkan ESP32, smartphone, relay, dan kontaktor untuk pengasutan motor [4], sementara Hubais et al. bahkan menyediakan pengaturan waktu transisi dan pemantauan status melalui browser [5]. Dengan demikian, unsur IoT pada proyek ini tidak dapat diposisikan sebagai novelty tunggal. Mayangsari et al. juga telah menunjukkan pengoperasian manual dan otomatis menggunakan PLC [3]. Kontribusi yang lebih defensible adalah integrasi panel pendidikan berbiaya rendah yang menggabungkan input manual dan IoT, tetapi tetap mempertahankan satu urutan state, prioritas Stop/Emergency Stop, dead time, serta interlock ganda pada KM2-KM3.

Dari perspektif pembelajaran, pendekatan tersebut memungkinkan mahasiswa menghubungkan tiga domain sekaligus: teori motor tiga fasa, rangkaian kontrol kontaktor, dan pemrograman mikrokontroler. Tren serupa terlihat pada laboratorium kendali motor jarak jauh berbasis ESP32 dan IoT [9]. Perbedaannya, purwarupa ini tidak berfokus pada laboratorium remote penuh atau logging data, melainkan pada keterbacaan urutan starting dan disiplin keselamatan switching.

D. Evaluasi Keselamatan dan Keterbatasan

Kombinasi state pada Tabel I menunjukkan bahwa keadaan KM2=ON dan KM3=ON tidak pernah diizinkan. Secara desain, hal ini sudah memenuhi tujuan logika interlock. Namun, interlock perangkat lunak tidak boleh menjadi satu-satunya lapisan proteksi. Kontak NC silang, interlock mekanis, overload relay, dan Emergency Stop tetap diperlukan karena kegagalan mikrokontroler, driver relay, atau perangkat lunak dapat terjadi. Standar IEC menempatkan kontaktor, motor-starter, proteksi, dan fungsi penghentian darurat sebagai bagian yang harus dinilai secara perangkat keras [10], [11].

Keterbatasan utama paper ini adalah belum tersedianya data hasil pengujian fisik yang lengkap. Tidak ada data arus starting, waktu aktual perpindahan kontaktor, latensi perintah IoT, jumlah keberhasilan dari pengulangan siklus, respons overload, maupun verifikasi fault feedback. Karena itu, hasil yang disajikan harus dibaca sebagai hasil perancangan dan verifikasi logika, bukan validasi performa industri. Penelitian lanjutan perlu menggunakan motor induksi tiga fasa dengan rating diketahui, melakukan sedikitnya puluhan siklus start-stop, mengukur inrush current, mencatat dead time aktual, menguji loss of Wi-Fi, serta memverifikasi Emergency Stop dan overload secara terpisah. Pemantauan suhu dan kualitas daya juga dapat ditambahkan sebagaimana arah perkembangan IoT pada panel motor [7], [12].

E. Hasil Implementasi Purwarupa dan Antarmuka IoT

Realisasi purwarupa panel hasil perancangan ditunjukkan pada Gambar 3. Purwarupa terdiri atas panel utama, panel kendali manual, indikator lampu, rangkaian kontaktor, dan beban simulasi yang terintegrasi dalam satu sistem demonstrasi. Panel utama menampilkan tiga indikator kondisi, sedangkan panel kendali manual menyediakan tombol operasi dan pemantauan tegangan. Susunan fisik ini memperlihatkan keterkaitan rangkaian daya, rangkaian kontrol, serta urutan perpindahan Wye-Delta sebagai media pembelajaran dan pengujian fungsional.

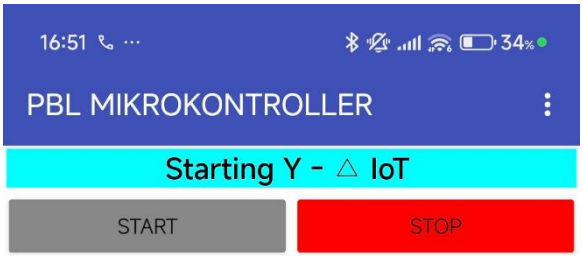


Gambar 3. Realisasi purwarupa panel Wye-Delta berbasis ESP32 dengan kendali manual dan IoT.

Antarmuka IoT ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Aplikasi menyediakan dua perintah utama, yaitu START dan STOP, yang dikirimkan ke ESP32 melalui jaringan Wi-Fi. Saat START aktif, tombol START diberi penanda hijau sebagai indikasi perintah operasi, sedangkan saat STOP aktif tombol STOP diberi penanda merah sebagai indikasi penghentian. Penyajian status visual tersebut mendukung keterbacaan kondisi perintah pada antarmuka dan sejalan dengan konsep HMI Android serta starter Wye-Delta berbasis IoT yang telah dilaporkan pada [4], [5].



Gambar 4. Tampilan aplikasi IoT saat perintah START aktif.



Gambar 5. Tampilan aplikasi IoT saat perintah STOP aktif.

Hasil implementasi memperlihatkan bahwa panel fisik dan antarmuka IoT berfungsi sebagai dua lapisan interaksi yang saling melengkapi. Panel memberikan umpan balik langsung

melalui indikator dan perangkat kendali lokal, sedangkan aplikasi menyediakan akses perintah melalui smartphone tanpa mengubah urutan state dan logika interlock pada ESP32. Dengan demikian, purwarupa tidak hanya merepresentasikan teori pengasutan Wye-Delta, tetapi juga menunjukkan integrasi perangkat keras dan antarmuka digital dalam sistem kendali pendidikan.

IV. KESIMPULAN

Paper ini mengembangkan rancangan panel Wye-Delta berbasis ESP32 untuk purwarupa pendidikan pengasutan motor tiga fasa dengan dua mode operasi, yaitu manual dan IoT. Sistem membentuk empat state utama: Siaga, Wye, Transisi, dan Delta. Pada rancangan yang dikembangkan, KM1 dan KM2 aktif selama 7 s, KM2 kemudian dilepas, sistem menunggu dead time 250 ms, dan KM3 hanya dapat aktif apabila interlock aman. Secara teoritis, hubungan Wye menurunkan tegangan fasa menjadi VL/√3, arus line start ideal menjadi sekitar sepertiga kondisi Delta, dan torsi start juga sekitar sepertiga. Hasil implementasi juga menunjukkan bahwa panel fisik dan antarmuka IoT dapat direalisasikan sebagai purwarupa pembelajaran. Kontribusi paper terletak pada penyatuan dua sumber perintah ke dalam satu state machine yang memprioritaskan Stop/Emergency Stop dan mencegah overlap KM2-KM3, bukan pada klaim bahwa metode Wye-Delta atau IoT merupakan konsep baru. Karena data proyek belum menyediakan hasil eksperimen motor yang lengkap, validasi kuantitatif terhadap arus starting, latensi IoT, reliabilitas siklus, dan kinerja proteksi masih diperlukan sebelum sistem dapat dinilai sebagai starter motor siap aplikasi.

DAFTAR ACUAN

[1] L. Hardine, D. B. Santoso, and R. S. Hadikusuma, "Analysis of the influence of star delta system in reduce electric starting surge in 3 phase motors," Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, vol. 16, no. 2, pp. 208–214, May 2022, doi: 10.23960/elc.v16n2.2288.

[2] A. Dani and D. Erivianto, "Studi perbandingan arus start motor induksi sistem pengasutan DOL dan star delta menggunakan Automation Studio," Jurnal Indonesia Sosial Teknologi, vol. 4, no. 4, pp. 413–422, Apr. 2023, doi: 10.59141/jist.v4i4.602.

[3] D. R. K. Mayangsari, R. Z. Pria P., A. Supra Y., and A. Yudha R., "Design PLC on induction motors using star-delta with manual and automatic technique," INAJEEE (Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering), vol. 5, no. 2, pp. 38–45, 2022, doi: 10.26740/inajeee.v5n2.p38-45.

[4] D. D. Suharso, H. Purnomo, S. Winardi, and A. Budijanto, "Desain Human Machine Interface Android dengan teknologi Internet of Things untuk kontrol star delta motor 3 phase," Jurnal Teknik Elektro Uniba, vol. 7, no. 1, pp. 296–304, Oct. 2022, doi: 10.36277/jteuniba.v7i1.193.

[5] S. N. S. Hubais, B. Moorthy, J. Santiago, S. S. S. Masan, and Y. S. A. D. A. B. Bin, "IoT Star-Delta Starter for Remote Control of 3-Phase Motors," in 2022 IEEE 5th Student Conference on Electric Machines and Systems (SCEMS), 2022, pp. 121–125, doi: 10.1109/SCEMS56272.2022.9990667.

[6] O. I. Yuspita, V. R. Ahmad, N. Nadhiroh, and D. Widjajanto, "Perancangan Panel Motor Control Centre Mixing Cream Starter Star-Delta," Electrices, vol. 5, no. 1, pp. 48–56, Apr. 2023, doi: 10.32722/ees.v5i1.5381.

[7] H. Setiana, H. Z. Muhammad, Isdawimah, and O. I. Yuspita, "Monitoring kualitas daya listrik berbasis Internet of Things pada panel kontrol motor," Electrices, vol. 5, no. 2, pp. 88–97, Oct. 2023, doi: 10.32722/ees.v5i2.6267.

[8] P. Pratikto, R. Z. Fitriani, Y.-D. Kuan, M. N. Julianto, L. Utari, N. Khakim, M. Latif, and M. A. Falahuddin, "Remotely Accessible IoT Monitoring of a Programmable Logic Controller-controlled AC Motor System with Embedded AI Using ESP32," Sensors and Materials, vol. 37, no. 11, pp. 4941–4954, Nov. 2025, doi: 10.18494/SAM5889.

[9] D. Artanto, E. A. B. Cahyono, and P. Arbiyanti, "Design and Construction of a Remote Access Laboratory for Three-Phase AC Electric Motor Control using FluidSIM and IoT Interface," Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education), vol. 11, no. 1, 2026, doi: 10.21831/elinvo.v11i1.91324.

[10] IEC, IEC 60947-4-1:2023, Low-voltage switchgear and controlgear - Part 4-1: Contactors and motor-starters - Electromechanical contactors and motor-starters, 5th ed. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2023.

[11] IEC, IEC 60204-1:2016+AMD1:2021 CSV, Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements, ed. 6.1. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 2021.

[12] O. R. Olakunle, G. N. Douglas, and O. K. Ogidan, "An IoT-Based Non-Intrusive Temperature Monitoring System for Star-Delta Controlled Three-Phase Induction Motor," Engineering Headway, vol. 33, pp. 237–247, 2026, doi: 10.4028/p-9yVqDM.