

Pengendalian Motor 3 Fasa dan Proteksi Phase Failure Berbasis Smart Relay Zelio

Three Phase Motor Control and Phase Failure Protection Based on Zelio Smart Relay

Sukandar Sawidin
Prodi Teknik Elektro
Politeknik Negeri Manado
Manado, Indonesia
sukandarsawidin@gmail.com

Yoice R. Putung
Prodi Teknik Elektro
Politeknik Negeri Manado
Manado, Indonesia
yoiceputung@gmail.com

Tracy Marsela Kereh
Prodi Teknik Elektro
Politeknik Negeri Manado
Manado, Indonesia
tracymarsela@gmail.com

Anthoinete Waroh
Prodi Teknik Elektro
Politeknik Negeri Manado
Manado, Indonesia
anthoinete_w@gmail.com

Diterima : Juni 2025
Disetujui : Juli 2025
Dipublikasi : Juli 2025

Abstrak— Motor induksi tiga fasa merupakan komponen vital dalam berbagai aplikasi industri karena karakteristiknya yang tangguh serta efisiensi operasional yang tinggi. Meskipun demikian, motor ini memiliki kerentanan terhadap gangguan kelistrikan, khususnya kegagalan fasa (phase failure), yang dapat menimbulkan kerusakan signifikan apabila tidak ditangani secara tepat. Sebagai respons terhadap permasalahan tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan suatu sistem kendali motor induksi tiga fasa yang terintegrasi dengan proteksi *Phase Failure Relay* (PFR) berbasis *Smart Relay Zelio*. Sistem ini dirancang untuk melakukan deteksi gangguan fasa secara *real-time* serta merespons secara otomatis guna mencegah kerusakan lanjutan pada motor. Metodologi yang digunakan mencakup perancangan skema kendali berbasis *Smart Relay Zelio*, integrasi perangkat proteksi PFR, serta serangkaian pengujian terhadap performa sistem dalam kondisi beban yang bervariasi dan simulasi gangguan fasa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi kehilangan salah satu fasa dengan tingkat akurasi dan kecepatan respons yang tinggi. Ketika terjadi kegagalan fasa, sistem secara otomatis menghentikan suplai daya ke motor untuk mencegah kerusakan yang lebih serius. Di samping itu, penggunaan *Smart Relay Zelio* memberikan kemudahan dalam proses konfigurasi, pemantauan, serta fleksibilitas pengoperasian, yang secara keseluruhan berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan keselamatan sistem. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali motor induksi tiga fasa yang dilengkapi dengan proteksi PFR berbasis *Smart Relay Zelio* terbukti efektif dalam mendeteksi dan merespons kegagalan fasa, sekaligus meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem kelistrikan secara menyeluruh.

Kata Kunci : *Motor Induksi tiga fasa; Smart Relay; Phase Failure Relay (PFR)*

Abstract - *Three-phase induction motors are vital components in various industrial applications due to their robust characteristics and high operational efficiency. However, these motors are susceptible to electrical disturbances, particularly phase failure, which can cause significant damage if not handled properly. In response to this issue, this study designs and implements a three-phase induction motor control system integrated with Phase Failure Relay (PFR) protection based on the Smart Relay Zelio. The system*

is designed to detect phase failures in real-time and respond automatically to prevent further damage to the motor. The methodology used includes the design of a control scheme based on the Smart Relay Zelio, integration of the PFR protection device, and a series of tests on system performance under varying load conditions and phase failure simulations. Test results show that the system can identify the loss of one phase with high accuracy and response speed. When a phase failure occurs, the system automatically stops the power supply to the motor to prevent more serious damage. In addition, the use of the Zelio Smart Relay provides ease of configuration, monitoring, and operational flexibility, which collectively contribute to improved system efficiency and safety. Therefore, it can be concluded that the three-phase induction motor control system equipped with PFR protection based on the Smart Relay Zelio is effective in detecting and responding to phase failures, while enhancing the overall reliability and safety of the electrical system.

Keywords: *Three-phase Induction Motor; Smart Relay; PFR*

I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa menempati posisi sebagai komponen esensial dalam sistem industri kontemporer, didorong oleh karakteristiknya yang unggul dalam hal keandalan (*reliability*), efisiensi energi, serta ketahanan terhadap ragam kondisi operasional. Keunggulan operasional berkesinambungan (*continuous operation*) yang dimilikinya menjadikan motor induksi tiga fasa sebagai pilihan dominan pada berbagai sektor industri strategis, termasuk manufaktur, otomasi, dan pengolahan material. Meskipun demikian, perangkat ini tetap rentan terhadap potensi gangguan kelistrikan, salah satunya manifestasi kegagalan fase (*phase failure*) yang signifikan [1].

Fenomena *phase failure* timbul akibat terputusnya atau tidak berfungsinya salah satu dari ketiga fase suplai tegangan secara memadai. Etiologi gangguan ini dapat bersumber dari multifaktor, seperti kerusakan kabel penghantar, malfungsi pada panel distribusi, atau gangguan di sepanjang jaringan transmisi listrik. Kondisi hilangnya satu fase ini menginduksi

peningkatan arus yang tidak proporsional pada fase-fase yang tersisa, berpotensi memicu fenomena pemanasan berlebih (*overheating*), degradasi isolasi, dan pada akhirnya menyebabkan kerusakan permanen pada motor induksi. Tanpa penanganan protektif yang memadai, kegagalan fase berimplikasi pada kerugian material yang substansial akibat kerusakan peralatan serta penurunan produktivitas operasional secara drastis. Guna memitigasi dampak negatif tersebut, diperlukan implementasi sistem kendali yang mampu melakukan deteksi dini (*early detection*) kehilangan fase secara *real-time* dan menginisiasi tindakan preventif otomatis. Solusi protektif yang efektif adalah pemanfaatan *Phase Failure Relay* (PFR), yang berfungsi sebagai perangkat pengaman khusus (*dedicated protective device*) untuk kondisi kegagalan fase. Prinsip kerja PFR didasarkan pada pemantauan kontinuitas arus pada setiap fasenya, yang kemudian akan mengaktifkan pemutusan suplai daya (*power disconnection*) secara otomatis manakala terdeteksi ketidakseimbangan arus antar fase (*current imbalance*) atau kehilangan salah satu fase [2].

Dalam konteks implementasi teknis, sistem proteksi berbasis PFR ini dapat diintegrasikan secara sinergis dengan *Smart Relay Zelio*. Perangkat Zelio menawarkan kapabilitas pemrograman logika sederhana, konfigurasi yang intuitif, serta kompatibilitas tinggi dengan beragam antarmuka kendali. Lebih dari sekadar fungsi kendali dasar, *Smart Relay Zelio* memfasilitasi proses pemantauan (*monitoring*) dan pengaturan (*configuration*) sistem secara lebih fleksibel dan terpusat. Oleh karena itu, sinergi integratif antara *Phase Failure Relay* dan *Smart Relay Zelio* diantisipasi mampu meningkatkan tingkat keandalan (*reliability*) dan keamanan operasional (*operational safety*) motor induksi tiga fasa secara signifikan [1].

Penelitian inovatif ini bertujuan untuk merancang (*design*) dan mengimplementasikan (*implement*) suatu sistem kendali motor induksi tiga fasa terlengkap dengan mekanisme proteksi *Phase Failure Relay* berbasis *Smart Relay Zelio*. Melalui serangkaian pengujian empiris (*empirical testing*) pada berbagai skenario operasional, sistem ini diharapkan mampu: (1) Mendeteksi kegagalan fase secara akurat (*accurate detection*), (2) Memberikan perlindungan optimal (*optimal protection*) terhadap potensi kerusakan motor, serta (3) Meningkatkan efisiensi operasional (*operational efficiency*) dalam lingkungan industri riil.

Kerangka konseptual dan teknis penelitian ini bertumpu pada sejumlah riset pendahuluan yang membentuk landasan epistemologis dan teknometrik yang kokoh. Kajian terdahulu kolektif mengukuhkan kapabilitas *Smart Relay Zelio* sebagai inti sistem kendali dan proteksi motor induksi. 1. Pertama, eksperimen pada Perancangan Kendali Motor Listrik Berbasis *Smart Relay (Zelio)* [3][4][5] telah mendemonstrasikan secara empiris keandalan Zelio dalam mengimplementasikan logika kendali arah putaran motor (*forward/reverse*) beserta mekanisme indikasi visualnya. Temuan krusialnya terletak pada implementasi logika *standby* yang bersifat eksklusif—hanya aktif ketika motor berada dalam kondisi netral tanpa aktivasi putaran spesifik—yang merefleksikan kemampuan Zelio dalam menangani *state-based control* secara elegan.

Lebih jauh, validitas Zelio sebagai platform edukasi dan pengembangan sistem riil dikuatkan oleh studi Perancangan

Trainer Kendali Motor Listrik Berbasis PLC [6][1][7][8]. Penelitian ini tidak sekadar menghasilkan prototipe *trainer*, tetapi juga membuktikan kelayakan (*feasibility*) luar biasa baik dari dimensi media pembelajaran (91%) maupun substansi materi (98%). Tingginya validitas ini menegaskan potensi aplikasi sistem berbasis Zelio dalam konteks praktikum *engineering* sekaligus sebagai basis pengembangan solusi industri.

Pada ranah kontrol dinamis, penelitian Sistem Kontrol Kecepatan Motor 3 Fasa Dengan *Smart Relay Zelio* Dan *Inverter Altivar* [9][10][11] memberikan kontribusi fundamental. Riset ini berhasil membuktikan sinergi Zelio dengan perangkat *inverter* dalam mencapai presisi pengaturan kecepatan dan frekuensi motor—sebuah prasyarat esensial untuk sistem kendali adaptif dalam lingkungan operasional yang kompleks. Capaian ini mengindikasikan fleksibilitas Zelio dalam berinterkoneksi dengan perangkat *drive* modern untuk optimasi kinerja motor.

Di sisi pedagogis, eksperimen implementasi *Pendekatan Reciprocal Teaching* pada materi instalasi saklar berbasis Zelio [12][13][14] menawarkan prospektif unik. Keberhasilan pendekatan ini—dengan 85% peserta didik mencapai ketuntasan KKM dan peningkatan signifikan dalam kemandirian belajar—tidak hanya menguatkan relevansi materi sistem Zelio dalam kurikulum teknik, tetapi juga merefleksikan kemudahan adopsi teknologinya (*technology adoption ease*) sehingga memfasilitasi transfer pengetahuan yang efektif.

Akhirnya, riset inovatif pada Rancang Bangun dan Analisis Peralatan Pendeteksi Dini Temperatur Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Zelio [15][16] memberikan paradigma baru dalam proteksi proaktif. Sistem yang dikembangkan mengeksplorasi pemanfaatan sensor termal LM35 terintegrasi Zelio untuk menciptakan mekanisme respon bertingkat (*graded response*): peringatan visual (*warning*) pada suhu 61°C–70°C, diikuti pemutusan daya dan aktivasi pendingin paksa (*forced cooling*) pada suhu $\geq 71^\circ\text{C}$, dengan status *hold* menunggu intervensi operator. Arsitektur ini menjadi preseden penting untuk desain sistem proteksi multifungsi berbasis logika adaptif.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi metodologi sistematis dalam merancang sistem kendali motor induksi tiga fasa berproteksi *Phase Failure Relay* (PFR) berbasis *Smart Relay Zelio*, yang diimplementasikan melalui enam tahapan epistemik-operasional berikut:

1. Eksplorasi Landasan Teoritis

Dilakukan *comprehensive literature review* untuk membangun fondasi konseptual meliputi:

- Prinsip operasional motor induksi tiga fasa,
- Mekanisme deteksi kegagalan fase (*phase failure*) dan arsitektur PFR,
- Paradigma konfigurasi dan pemrograman *Smart Relay Zelio*

Sumber referensial dikurasi secara ketat meliputi monograf terakreditasi, jurnal *peer-reviewed*, publikasi teknis bereputasi, dan *technical datasheet* pabrikan.

2. Sintesis Arsitektur Sistem Kendali-Proteksi

Perancangan sistem dikembangkan melalui pendekatan *dual-circuit integration*:

- Rangkaian Kendali (*Control Circuit*): Menggunakan *Smart Relay Zelio* sebagai *central processing unit* untuk mengoordinasikan operasional motor melalui pemrograman logika kendali (*start-stop*) berbasis sinyal input PFR.
- Rangkaian Proteksi (*Protection Circuit*): Mengintegrasikan PFR sebagai *primary sensing module* pada saluran suplai utama, yang mengaktifasi *instantaneous power disconnection* via *Zelio* saat mendeteksi anomali ketidakseimbangan fase (*phase imbalance*) atau kehilangan fase (*phase loss*).

3. Realisasi Fisis dan Integrasi Sistem

Implementasi fisik sistem melibatkan integrasi komponen kritis:

- Motor induksi tiga fasa sebagai *prime mover*,
- *Smart Relay Zelio SR2B121BD* sebagai *main controller*,
- PFR sebagai *protective sensing device*,
- *Modular contactor* dan *Miniature Circuit Breaker (MCB)* sebagai *switching apparatus*,
- Panel kendali dengan *wiring configuration* sesuai diagram rangkaian hasil sintesis Tahap II.

4. Validasi Eksperimental melalui *Multi-Scenario Testing*

Pengujian sistem dilakukan dalam tiga skenario terstruktur:

- Uji Fungsionalitas (*Functional Testing*): Verifikasi kapabilitas *command execution* (start-stop) via antarmuka *Zelio*.
- Uji Respons Proteksi (*Protection Response Testing*): Evaluasi kinerja PFR dalam mendeteksi *phase failure* dan mengaktifasi *emergency shutdown*.
- Uji Beban Dinamis (*Dynamic Load Testing*): Analisis stabilitas sistem dan reliabilitas proteksi di bawah variasi beban operasional.

5. Analisis Kinerja Sistem Berbasis Data Eksperimental

Data uji dianalisis secara kuantitatif-kualitatif dengan fokus pada parameter:

- *Response time* PFR,
- Stabilitas sistem selama operasi *steady-state* dan *transient*,
- Efektivitas proteksi dalam mencegah *thermal overload* dan kerusakan motor.

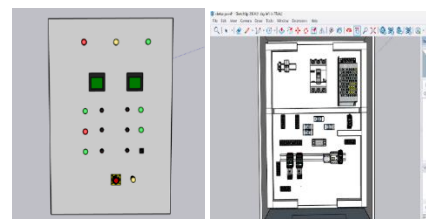
6. Dokumentasi Sistematis dan Evaluasi Kritis

Tahap final meliputi:

- Dokumentasi komprehensif seluruh proses perancangan dan hasil eksperimen,
- *Strengths-weaknesses analysis* melalui evaluasi kritis terhadap *robustness* sistem,
- Formulasi rekomendasi pengembangan untuk *future work*.

A. Perancangan Panel Kontrol Motor Induksi Tiga Fasa

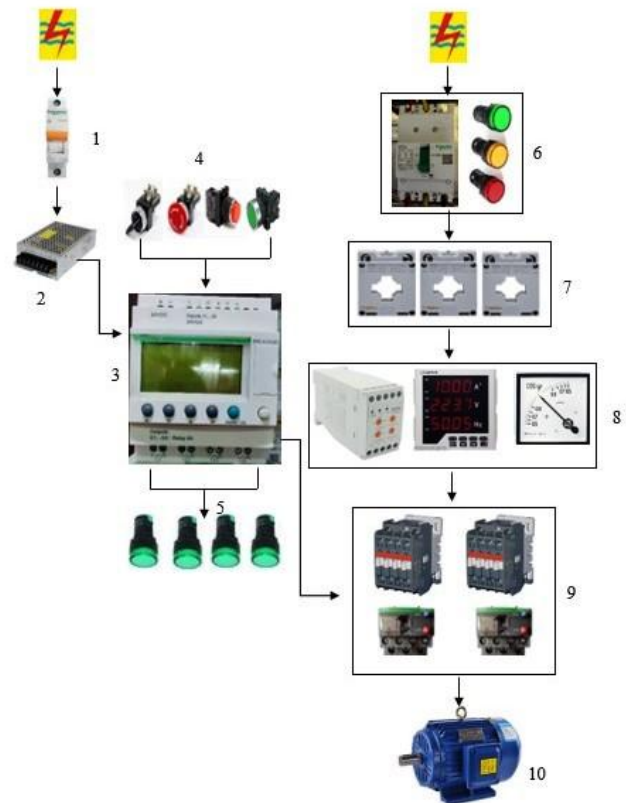
Perancangan panel kontrol motor induksi tiga fasa didesain menggunakan software aplikasi *Sketcup* seperti terlihat pada gambar 1. Memperlihatkan penempatan komponen pada tampak depan dan tampak dalam.



Gambar 1. Perancangan Panel Kontrol

B. Blok Diagram Sistem Kontrol

Blok diagram Sistem Pengendalian Motor 3 Fasa dan Proteksi Phase Failure Berbasis *Smart Relay Zelio* seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Kontrol

Penjelasan teknis Gambar 2.:

1. *Miniature Circuit Breaker (MCB)* Satu Fasa Berfungsi sebagai pemutus utama untuk mengaktifkan sistem catu daya searah (DC) dengan tegangan nominal 24 Volt. Komponen ini memberikan proteksi awal terhadap gangguan arus pada jalur suplai sistem kendali.
2. *Catu Daya DC 24 Volt*
Menyediakan tegangan operasional yang diperlukan untuk mengaktifkan *Programmable Logic Controller (PLC)* atau *Smart Relay*, serta mendukung pengoperasian sinyal input pada sistem kontrol.
3. *Smart Relay Zelio*
Berperan sebagai pusat kendali logika dalam sistem. *Smart Relay* ini digunakan untuk mengendalikan lampu indikator serta mengaktifkan kontaktor yang bertugas menjalankan motor induksi tiga fasa sesuai dengan logika kontrol yang telah diprogram.
4. *Perangkat Input* untuk *Smart Relay Zelio*.

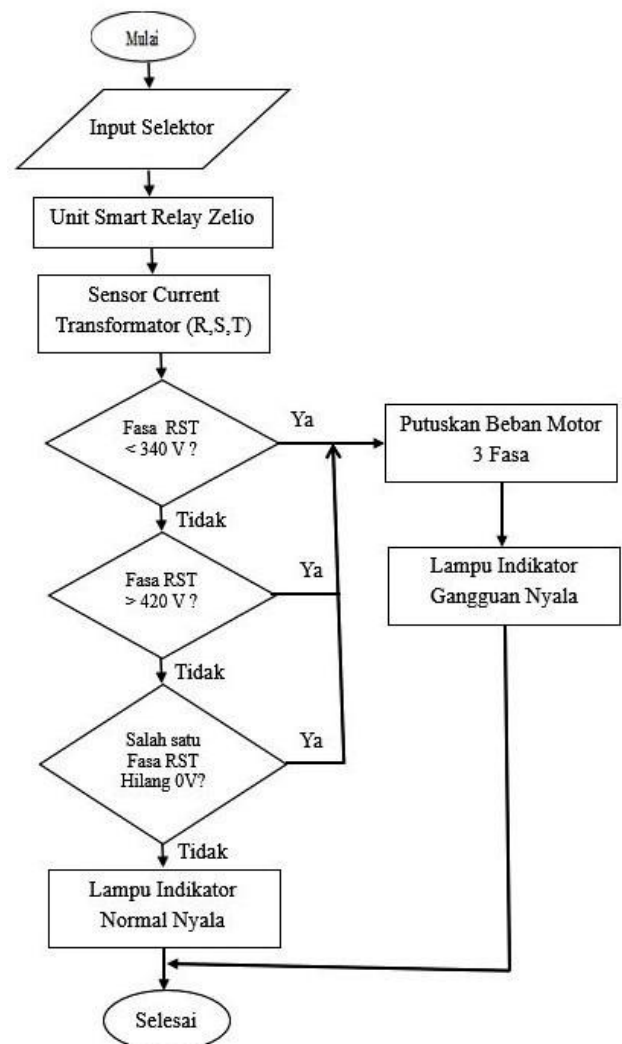
Input diberikan dalam bentuk tombol-tombol fungsional, yang terdiri atas selector switch, tombol *stop*, tombol *start*, dan tombol *emergency*. Tombol-tombol ini berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk memberikan perintah operasional sistem secara manual.

5. Perangkat Output Smart Relay Zelio.
Output dari Smart Relay dikonfigurasi untuk mengendalikan indikator visual berupa lampu penanda status sistem, serta untuk mengaktifkan atau menonaktifkan kontaktor sesuai logika pengendalian yang telah dirancang.
6. Molded Case Circuit Breaker (MCCB)
Tiga Fasa MCCB digunakan sebagai proteksi utama terhadap arus lebih (*overcurrent*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) pada jalur suplai motor. Di samping itu, lampu indikator fasa (R, S, T) digunakan untuk menunjukkan kondisi keberadaan dan kestabilan tegangan pada masing-masing fasa.
7. Transformator Arus (Current Transformer/CT)
Digunakan sebagai sensor pengukuran arus listrik yang mengalir pada sistem. CT ini memungkinkan pengawasan nilai arus aktual secara aman melalui sistem monitoring, tanpa harus terhubung langsung ke jalur arus tinggi.
8. Proteksi dan Monitoring Tambahan
 - Phase Failure Relay (PFR) berfungsi untuk mendeteksi gangguan berupa kehilangan fasa, tegangan kurang (*under-voltage*), dan tegangan lebih (*over-voltage*). PFR akan menginisiasi pemutusan daya jika terjadi anomali guna mencegah kerusakan sistem.
 - Power Meter Digital digunakan untuk memantau parameter-parameter kelistrikan secara komprehensif seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi.
 - Pengukur Faktor Daya ($\cos \phi$) berfungsi untuk mengetahui nilai faktor daya sistem, yang penting dalam evaluasi efisiensi konsumsi energi.
9. Kontaktor Tiga Fasa dan Thermal Overload Relay (TOR)
Kontaktur digunakan sebagai saklar elektromagnetik untuk menghubungkan motor dengan sumber daya. Sedangkan TOR berperan sebagai perangkat pengaman yang akan memutus sirkuit secara otomatis apabila terdeteksi adanya beban berlebih yang melebihi ambang batas aman yang telah ditentukan.
10. Motor Induksi Tiga Fasa
Merupakan beban utama dalam sistem ini yang dikendalikan oleh rangkaian kontrol dan proteksi. Motor ini digunakan untuk aplikasi penggerak dalam lingkungan industri dan sangat bergantung pada kestabilan sistem kendali dan proteksi yang telah dirancang.

C. Flowchart Pengendalian Motor 3 Fasa dan Proteksi Phase Failure Berbasis Smart Relay Zelio

Rangkaian proses pengendalian motor induksi tiga fasa, yang dimulai dari penerimaan sinyal input hingga menghasilkan keluaran sesuai fungsi kendali, divisualisasikan secara

sistematis pada Gambar 4 dalam bentuk diagram alir (*flowchart*).



Gambar 4. Flowchart Pengendalian Motor 3 Fasa dan Proteksi Phase Failure Berbasis Smart Relay Zelio

Penjelasan Flowchart gambar 4.:

- Mulai, mengaktifkan alat Sistem Kendali Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Proteksi Phase Failure Relay Menggunakan Smart Relay Zelio.
- Memilih Sistem dijalankan Manual atau Otomatis.
- Sensor Current Transformator (RST) akan mendeteksi tegangan yang masuk melalui sumber Listrik PLN.
- Jika nilai tegangan fasa RST < 340 V maka beban listrik motor induksi tiga fasa diputuskan, dan lampu indikator tegangan kurang (Under Voltage) akan menyala.
- Jika nilai tegangan fasa RST > 420 V maka beban listrik motor induksi tiga fasa diputuskan, dan lampu indikator tegangan kurang (Over Voltage) akan menyala.
- Jika ada salah satu tegangan fasa RST hilang = 0 V maka beban listrik motor induksi tiga fasa diputuskan, dan lampu indikator tegangan salah satu fasa hilang akan menyala
- Jika nilai tegangan fasa RST Normal 360 s/d 420 V maka beban listrik motor induksi tiga fasa dijalankan dan lampu indikator tegangan normal menyala.
- Selesai

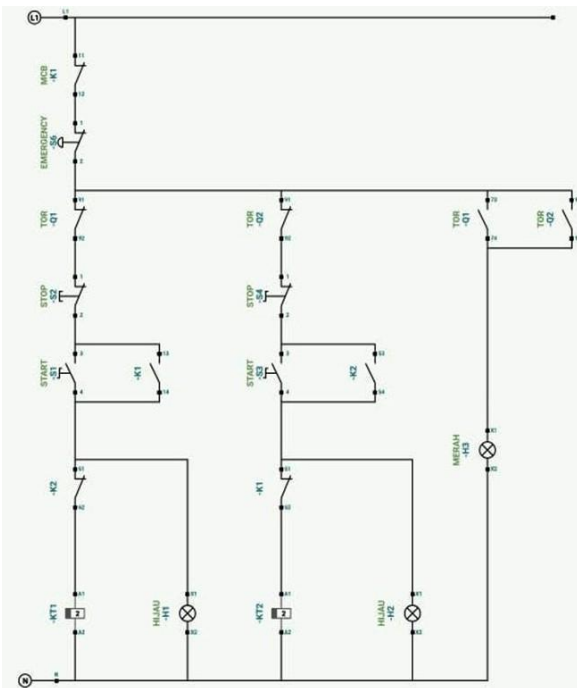
D. Perancangan Rangkaian kontrol dan Daya Motor Induksi 3 Fasa

Sistem kontrol ini diaktifkan ketika pengguna menekan tombol *start*, baik untuk arah putaran maju (*forward*) maupun mundur (*reverse*). Mekanisme ini dirancang untuk mengatur arah rotasi motor induksi tiga fasa dengan tetap mempertimbangkan aspek keselamatan dan efisiensi operasional. Untuk mencegah risiko kerusakan mekanis maupun listrik pada motor, sistem dikondisikan agar perubahan arah putaran hanya dapat dilakukan setelah motor benar-benar berhenti secara total. Prinsip ini menjadi prosedur wajib dalam pengendalian motor dua arah, dan divisualisasikan secara konseptual pada Gambar 5, sedangkan konfigurasi rangkaian daya motor induksi tiga fasa ditampilkan pada Gambar 6.

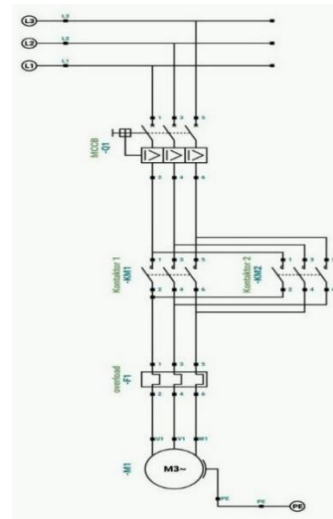
Pada mode putaran maju, ketika tombol *Start* (S1) ditekan, maka kontaktor KT1 akan aktif. Setelah jeda waktu sebesar dua detik (*delay timer*), motor akan mulai berputar searah jarum jam (*forward*). Jika kemudian tombol *Stop* (S0) ditekan, maka kontaktor KT1 akan nonaktif, yang secara otomatis menyebabkan motor berhenti berputar.

Sebaliknya, untuk menjalankan motor dalam arah putaran mundur, tombol *Start* (S3) ditekan untuk mengaktifkan kontaktor KT2. Setelah jeda waktu dua detik, motor akan berputar berlawanan arah jarum jam (*reverse*). Apabila tombol *Stop* (S4) ditekan, maka suplai daya ke motor akan dihentikan, kontaktor KT2 akan nonaktif, dan motor pun berhenti beroperasi.

Rangkaian ini dirancang dengan mempertimbangkan sistem *interlock* logis guna mencegah kedua kontaktor (KT1 dan KT2) aktif secara bersamaan, serta untuk memastikan bahwa peralihan arah putaran dilakukan secara aman dan sistematis sesuai dengan standar keselamatan kelistrikan industri.



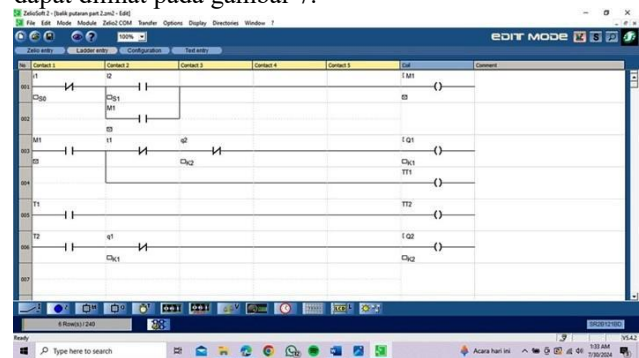
Gambar 5. Rangkaian Kontrol Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 6. Rangkaian Daya Motor Tiga Fasa

E. Perancangan Program Smart Relay Zelio

Pembuatan program Ladder Diagram Pengendalian Motor 3 Fasa dan Proteksi Phase Failure Berbasis Smart Relay Zelio, dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Program Smart Relay Zelio

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sistem ini, *Smart Relay Zelio* berfungsi sebagai pengendali utama yang mengatur proses start, stop, proteksi, dan pembalik arah putaran motor. Pemrograman logika kontrol dilakukan melalui *Zelio Soft 2* dengan menggunakan *ladder diagram*.

Rangkaian kendali meliputi:

- Tombol start, stop, forward, dan reverse sebagai input pengoperasian.
- Dua kontaktor tiga fasa yang diaktifkan bergantian oleh Smart Relay untuk mengubah arah putaran motor.
- Proteksi melalui *Phase Failure Relay (PFR)* yang mendeteksi kehilangan fasa, *over-voltage*, *under-voltage*, dan ketidakseimbangan tegangan.

PFR secara otomatis memutus aliran listrik jika terjadi gangguan, sehingga melindungi motor dari kerusakan dan meningkatkan keandalan sistem.



Gambar 8 Panel Kontrol Tampak Luar dan Dalam Panel

Keterangan:

1. Ketika Tombol switch di tekan(S1) maka lampu indikator otomatis menyala.
2. Selanjutnya indikator lampu pada Q1 menyala maka motor langsung putar kanan dengan selang waktu 10 detik
3. Setelah 10 detik kemudian lampu indikator Q2 menyala dan motor berputar otomatis ke arah kiri.
4. Setelah beroperasi tekan tombol Stop Untuk menghentikan motor tersebut.

Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa

Motor yang digunakan motor 3 fasa dengan kapasitas 1.1 kW.

3 Phase Electric Motor, Carpanelli

- Tipe : M90 C4
- Daya : 1,1Kw/1,5HP
- Frekuensi : 50Hz
- Berat : 41Kg
- Faktor Daya : 0,8

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$I = P/V \times \sqrt{3} \times \cos \phi$$

Ket :

$$P = 1,1 \text{ Kw} = 1,1 \times 1000 = 1100 \text{ Watt (W)}$$

$$V = 380 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0,81$$

$$I = P/V \times \sqrt{3} \times \cos \phi$$

$$I = 1100 / 380 \times 1,73 \times 0,81$$

$$I = 1100 / 552,22$$

$$I = 2,10 \text{ A}$$

A. Pengujian Relay under/over voltage dan fasa failure

Pada gambar 9 relay fasa failure dalam keadaan normal bila tidak terjadi gangguan.



Gambar 9. Pengujian Phase Failure Relay Keadaan Normal

Pada gambar 8. Pada pengujian ini dilakukan dengan beberapa tahap antara lain over voltage (tegangan lebih), under voltage (tegangan kurang), dan juga failure Squence (kegagalan fasa).

B. Pengujian Phase Failure Relay Keadaan Over

Pada gambar 10 relay fasa failure bekerja karena ada gangguan over voltage dengan lampu indikator phase failure relay menyala.



Gambar 10. Pengujian Phase Failure Relay Keadaan Over

Pada Gambar 9. Dari sumber tegangan yang masuk di L1, L2, L3 dan Netral Pada Phase Failure Relay (Under-Over Voltage Relay) Maka Lampu Indikator Normal akan menyala dan Saat di setting di tegangan Over Maka Lampu Indikator Trip akan menyala.

C. Pengujian Phase Failure Relay terhadap tegangan Under

Pada Pengujian ini dilakukan setting dengan menurunkan setting tegangan yang terukur. untuk membuat terjadinya under voltage agar dapat melihat respon dari Phase Failure Relay. Sehingga membuat lampu indikator Under Voltage menyala,



Gambar 11 Phase Failure Relay terhadap tegangan Under

D. Waktu operasi setting over dan under voltage

Dilakukan pengujian pada waktu operasinya, menguji berapa lama relay bereaksi saat tegangan melewati batas yang ditentukan, dilakukan setting over dan under voltage dengan menurunkan dan menaikkan settingan untung mengetes berapa lama relay bereaksi terhadap tegangan yang melewati batas yang ditentukan



Gambar 12. Setting Time Phase Failure Relay

E. Pengujian Phase Failure Relay Salah Satu Fasa Hilang

Pengujian ini dilakukan dengan menukarkan fasa satu dengan lainnya untuk melihat respon dari relay. Yang membuat Lampu indikator fasa failure menyala sebagai tanda bahwa Phase Failure Relay berfungsi saat terjadi kesalahan pada fasa.



Gambar 13. Indikator Phase Failure Relay Salah Satu Fasa Hilang atau fasa tertukar.

F. Hasil Pengujian Under Over Voltage Relay

Pengujian Under Over Voltage Relay dengan menguji tiap nilai seting pada Phase Failure Relay :

a) Over Voltage

Prosedur pengujian dari tegangan nominal 380 V s/d 480 V seperti terlihat pada tabel 1.

| Tegangan (V) Range Over Voltage 380V – 480V | Keterangan (Lampu Indikator Over) |
|--|--------------------------------------|
| 380V | Mati |
| 400V | Mati |
| 420V | Menyala |
| 440V | Menyala |
| 480V | Menyala |

b) Under Voltage

Prosedur pengujian dari tegangan 380 V (nominal) turun (under) s/d 300 V seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Under Voltage

| Tegangan (V) Range Under Voltage 380V – 300V | Keterangan (Lampu Indikator Over) |
|---|--------------------------------------|
| 380V | Mati |
| 360V | Mati |
| 340V | Menyala |
| 320V | Menyala |
| 300V | Menyala |

G. Pengujian Fase Failure Relay

Dalam implementasi sistem proteksi kelistrikan motor induksi tiga fasa, keberadaan *Phase Failure Relay (PFR)* memiliki peran yang sangat krusial dalam menjaga keandalan dan keselamatan operasi. Salah satu fitur penting dari perangkat ini adalah kemampuannya mendeteksi hilangnya salah satu fasa. Ketika terjadi gangguan berupa kehilangan fasa, PFR secara otomatis memutuskan rangkaian tenaga, sehingga sistem tidak dapat dijalankan hingga kondisi kelistrikan kembali normal. Aktivasi lampu indikator fasa *failure* memberikan sinyal visual yang jelas kepada operator bahwa telah terjadi gangguan pada salah satu fasa yang perlu segera diperiksa dan diperbaiki.

Selain itu, Phase Failure Relay juga dirancang untuk mendeteksi kesalahan urutan fasa. Kesalahan ini umumnya terjadi saat pemasangan kabel tidak mengikuti urutan fasa standar (R-S-T), yang dapat mengakibatkan arah putaran motor menjadi terbalik dan berpotensi merusak sistem mekanik. Dalam kondisi demikian, PFR akan menghentikan kerja sistem secara otomatis dan mencegah motor beroperasi sampai urutan fasa dikoreksi. Lampu indikator gangguan fasa juga akan menyala sebagai penanda adanya masalah pada konfigurasi fasa.

Berdasarkan analisis teknis yang dilakukan terhadap *Phase Failure Relay* tipe *Forge XJ3-D*, diketahui bahwa perangkat ini memiliki batas tegangan proteksi (*over setting*) dengan toleransi sebesar ± 4 Volt. Nilai ini menunjukkan bahwa relay tersebut memiliki sensitivitas yang cukup baik terhadap fluktuasi tegangan, sehingga mampu memberikan perlindungan yang akurat terhadap kondisi over-voltage dan kegagalan fasa, yang sangat penting dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik industri.

Tabel 3. Data Over Voltage

| Jenis Pengaman | Tipe | Kapasitas (V) | $V_e =$ Tegangan Nominal (V) | Time Delay (sec) |
|---------------------------|-------------|---------------|---------------------------------|------------------|
| | | Over Sett | V_{trip} | |
| Fase Failure Relay (OUVR) | Forge XJ3-D | 380 | 376 | 2 |
| | | 400 | 396 | |
| | | 419 | 415 | |

$V_{trip} = V_{set} - H$

Ket : V_{trip} = Nilai trip di Relay Over

V_{set} = Nilai setting

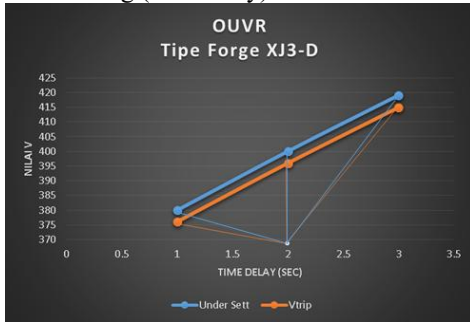
H = nilai toleransi tegangan

$376V = 380V - 4 V = 376 V$

$$396V = 400V - 4V = 396V$$

$$415V = 419V - 4V = 419V$$

Dari hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa V_{trip} pada over voltage menurun dari $V_{toleransi}$ yang ada, dalam jangka waktu setting (time delay) selama 2 detik



Gambar 14. Grafik Over Voltage

Pada tabel 4. Kapasitas tegangan under sett pada jenis pengaman Fase failure relay dengan type Forge XJ3-D dengan nilai toleransi tegangan 4 V

Tabel 4. Data Under Voltage

| Jenis Pengaman | Tipe | Kapasitas (V) | $V_e =$ Tegangan Nominal (V) | Time Delay (sec) |
|---------------------------|-------------|---------------|---------------------------------|------------------|
| | | Under Sett | V_{trip} | |
| Fase Failure Relay (OUVR) | Forge XJ3-D | 300 | 296 | 2,5 |
| | | 340 | 336 | |
| | | 367 | 371 | |

$$V_{trip} = V_{set} - H$$

Ket : V_{trip} = Nilai trip di Relay Under

V_{set} = Nilai setting

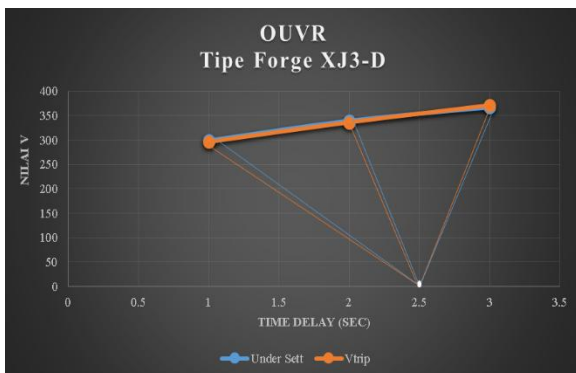
H = nilai toleransi tegangan

$$296V = 300V - 4V = 296V$$

$$336V = 340V - 4V = 336V$$

$$367V = 371V - 4V = 367V$$

Dari hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa V_{trip} pada under voltage melebihi dari $V_{toleransi}$ yang ada, dalam jangka waktu setting (time delay) selama 2,5 detik



Gambar 15. Grafik Underr Voltage

IV. KESIMPULAN

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali motor induksi tiga fasa yang dilengkapi dengan proteksi *Phase Failure Relay* dan pengendalian arah putaran menggunakan *Smart Relay Zelio* bekerja secara efektif. Sistem mampu mengatur rotasi motor dalam arah maju dan mundur dengan presisi serta memberikan perlindungan terhadap kegagalan fasa dan ketidakseimbangan tegangan dengan respons yang cepat dan andal.

Penggunaan *Smart Relay Zelio* memberikan keunggulan dalam hal fleksibilitas pemrograman logika kontrol, sehingga sistem mudah dikembangkan dan diintegrasikan dengan proteksi tambahan.

Adapun relay proteksi *under-over voltage* dan *phase failure* terbukti efektif dalam melindungi peralatan dari lonjakan tegangan maupun kehilangan fasa. Misalnya:

- Jika tegangan melebihi 380 V, relay trip pada 376 V.
- *Setting over voltage* di 420 V, trip terjadi di 419 V.
- *Setting under voltage* di 300 V, trip pada 296 V.
- Tegangan normal kembali pada 299 V.
- Saat under relay disetel di 340 V, sistem akan trip tepat di 340 V.
- *Setting* batas atas under voltage di 360 V, dan trip pada 371 V.

Rangkaian proteksi ini memberikan lapisan keamanan tambahan yang signifikan terhadap kestabilan dan keandalan sistem kelistrikan industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Manado yang telah memfasilitasi penelitian ini dan Pengelola Jambura Journal of Electrical and Engineering (JEEEE) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, sebagai sarana berbagi dan bertukar pikiran demi perbaikan penelitian ini, seta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga karya tulis ini bisa terlaksana.

REFERENSI

- [1] M. K. Alkindi, "Perancangan Alat Detektor Kegagalan Fasa Sebagai Proteksi Beban 3 Fasa," *Univ. Muhammadiyah Sumatera Utara, Thesis*, vol. 1, 2018.
- [2] J. B. Haryanto, T. Sukmadi, and K. Karnoto, "Perancangan Automatic Main Failure dan Automatic Transfer Switch di Lengkapi Dengan 10 Kondisi Display dan 4 Kondisi Backlighting Menggunakan Zelio Logic Smart Relay (SR)," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 3, pp. 818–825, 2013.
- [3] M. Y. Irawan, "Perancangan Kendali Motor Listrik Berbasis Smart Relay (Zelio)," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 8, no. 2, pp. 44–46, 2021, doi: 10.21107/triac.v8i2.10510.
- [4] R. Fairuzza, T. Sukmadi, and J. Windarta, "Perancangan Mesin Amplas Kayu Menggunakan Motor Induksi 3 Fasa dengan Zelio Logic Smart Relay," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 4, pp. 675–682, 2017.
- [5] M. Suhendar *et al.*, "Rancangan Smart Relay Zelio Pada Pengoperasian Pompa Air Bersih Gedung Bertingkat,"

JuTEkS, vol. 4, no. 2, pp. 29–37, 2017.

- [6] M. S. Farza, “Perancangan Trainer Kendali Motor Listrik Berbasis PLC Pada Mata Kuliah Praktikum Pengendalian Mesin Listrik.” UIN Ar-Raniry Banda Aceh, 2022.
- [7] P. Bunga, M. Pakiding, and S. Silimang, “Perancangan sistem pengendalian beban dari jarak jauh menggunakan smart relay,” *J. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 4, no. 5, pp. 65–75, 2015.
- [8] J. E. T. Pioh, L. S. Patras, and F. Lisi, “Pengendalian Motor Listrik Dari Jarak Jauh Dengan Menggunakan Software Zelio Soft 2 Dan Wifi,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 2, pp. 77–88, 2016.
- [9] W. WISANTI, “Sistem Kontrol Kecepatan Motor 3 Fasa Dengan Smart Relay Zelio Dan Inverter Altivar,” *J. INSTEK (Informatika Sains dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 41–48, 2022.
- [10] A. Kusmanto and A. Nuwolo, “Pengendali Star Delta Pada Pompa Deep Well 3 Fasa 37 Kw Dengan Plc Zelio Sr3B261Fu,” *Media Elektr.*, vol. 8, no. 2, 2015.
- [11] 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,” *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 7, no. 1, pp. 296–304, 2022.
- [12] A. Purwanto, “Pendekatan Reciprocal Teaching Sebagai Strategi Peningkatan Hasil Dan Kemandirian Belajar Materi Ajar Instalasi Motor Listrik Saklar Smart Relay,” *J. Penelit. Pendidik. Indones.*, vol. 5, no. 1, 2020.
- [13] S. Sonong, H. Nauwir, and M. R. Djalal, “Rancang Bangun Modul Pembelajaran Bengkel Listrik,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–39, 2019.
- [14] S. Sriwati, S. Karim, I. F. Putra, and Z. Zulkifli, “KONTROL START STOP MOTOR 1 PHASE MENGGUNAKAN REMOTE WIRELESS,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 19, no. 01, pp. 54–58, 2024.
- [15] A. D. Laksono and S. I. Haryudo, “Rancang Bangun dan Analisis Peralatan Pendeteksi Dini Temperatur Motor Induksi 3 Fasa Dengan Sensor LM35 Berbasis Zelio SR2B121BD,” *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 9, no. 2, 2020.
- [16] I. Ihsan and D. Lesmidayarti, “Penerapan Smart Sistem Monitoring dan Kontrol Motor 1 Fasa Menggunakan Google Assistant,” *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 8, no. 1, pp. 7–13, 2024.