

MIGRASI DARI PLC KE *SMART RELAY* ZELIO PADA *LIQUID STARTER MILL FAN* 42FA07 DI UNIT FINISH MILL PT. SEMEN TONASA (PERSERO)

Sitti Aisyah Talaohu¹, Marceau A. F. Haurissa², Mey Chyntia Yesaya³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

¹saisyahkalaohu@gmail.com ²haurissamarceau@gmail.com, ³meyyesaya@gmail.com

Abstract

The reliability of control systems is a key factor in ensuring efficiency and operational safety in modern industries. One common challenge is the presence of legacy control systems that are no longer supported by vendors, such as the CLMR Programmable Logic Controller (PLC) used in the liquid rotor starter system of the Mill Fan at Finish Mill 5, PT Semen Tonasa. This study aims to redesign the control system using a Zelio smart relay, focusing on two main questions, how to design Zelio's control logic to replicate the functions of the legacy system, and how to design the installation after the migration process. The research employs an applied engineering approach, including observation of the existing system, input-output mapping, ladder diagram development, and program simulation using Zelio Soft 2 software. The results show that the legacy control functions, including fluid circulation, electrode lowering, and protection alarm activation, can be functionally and stably replicated on the Zelio platform. The study concludes that migrating to the Zelio smart relay is an effective and efficient solution for replacing discontinued legacy control systems.

Keywords: *Liquid Starter, Control System Migration, PLC CLMR, Zelio.*

Abstrak

Keandalan sistem kontrol merupakan faktor kunci dalam menjamin efisiensi dan keselamatan operasi di industri modern. Salah satu tantangan yang dihadapi adalah keberadaan sistem kontrol lama yang tidak lagi didukung oleh vendor, seperti *Programmable Logic Controller (PLC) CLMR* pada sistem *liquid rotor starter* Mill Fan di Finish Mill 5 PT Semen Tonasa. Penelitian ini bertujuan merancang ulang sistem kontrol tersebut menggunakan *smart relay* Zelio, dengan fokus pada dua pertanyaan utama yaitu, bagaimana merancang logika kontrol Zelio agar dapat mereplikasi fungsi sistem lama, dan bagaimana mendesain instalasi setelah proses migrasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa terapan melalui observasi sistem eksisting, pemetaan *input-output*, penyusunan *ladder diagram*, dan simulasi program menggunakan perangkat lunak Zelio Soft 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungsi sistem kontrol lama, termasuk sirkulasi cairan, penurunan elektroda, dan aktivasi alarm proteksi, dapat direplikasi secara fungsional dan stabil pada platform Zelio. Kesimpulan penelitian ini menyatakan bahwa migrasi ke *smart relay* Zelio merupakan solusi yang efektif dan efisien untuk menggantikan sistem kontrol lama yang sudah tidak diproduksi.

Kata kunci: *Liquid Starter, Migrasi Sistem Kontrol, PLC CLMR, Zelio.*

I. Pendahuluan

Industri semen merupakan sektor manufaktur dengan proses produksi yang kompleks dan membutuhkan sistem kontrol andal untuk menjaga efisiensi, produktivitas, dan kontinuitas operasional. PT Semen Tonasa sebagai salah satu produsen semen terbesar di Indonesia mengoperasikan berbagai mesin berteknologi tinggi, termasuk unit *finish mill* yang berfungsi menggiling bahan baku menjadi bubuk semen siap kemas [1]. Salah satu komponen penting di unit ini adalah *mill fan* yang bertugas mengalirkan udara dalam proses penggilingan [2]. Pengendalian *mill fan* dilakukan menggunakan *liquid starter* dengan sistem kontrol berbasis PLC CLMR.

Meskipun handal, PLC CLMR kini menghadapi kendala serius, seperti statusnya yang sudah *obsolete* sehingga suku cadang sulit diperoleh, biaya pengadaan dan pemeliharaan tinggi, serta risiko *downtime* berkepanjangan saat terjadi kerusakan. Kondisi ini mendorong perlunya migrasi ke sistem kontrol yang lebih modern, efisien, dan mudah dipelihara.

Migrasi ke *smart relay* Zelio dipilih sebagai solusi karena menawarkan ketersediaan suku cadang yang lebih baik, harga lebih ekonomis, kemudahan pemrograman, serta fleksibilitas pengendalian. Langkah ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan operasional *mill fan* 420FA07, mengurangi risiko kerusakan fatal, serta meminimalkan gangguan produksi. [3]

1.1 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang program zelio sesuai dengan sistem kontrol sebelumnya untuk kebutuhan *liquid starter*?
2. Bagaimana mendesain instalasi zelio pasca migrasi PLC CLMR?

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Merancang program zelio yang sesuai dengan sistem kontrol sebelumnya untuk menggantikan fungsi kontrol yang sebelumnya dijalankan oleh PLC CLMR secara optimal.
2. Mendesain ulang instalasi kontrol menggunakan *smart relay* zelio setelah proses migrasi dari PLC CLMR.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan pemahaman yang lebih baik tentang keterbatasan sistem kontrol yang ada saat ini dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi produktivitas di *finish mill* Tonasa 4.
2. Menyediakan rekomendasi teknis untuk migrasi sistem kontrol yang dapat meningkatkan kapasitas dan fleksibilitas operasional, serta mengurangi *downtime*.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Mill Fan

Mill fan merupakan komponen penting dalam sistem penggilingan material, terutama pada industri semen dan industri lainnya yang menggunakan proses pengeringan dan pemisahan partikel. Peran utamanya adalah menciptakan aliran udara yang dikontrol dengan kecepatan dan volume tertentu untuk mendukung efisiensi dan stabilitas proses penggilingan. [2]

2.2 Liquid Rotor Starter

Liquid starter merupakan pemanfaatan media cair (*liquid*) sebagai tahanan luar motor induksi *slip ring*. Motor *slip ring*, atau dikenal juga sebagai *wound rotor induction motor*, adalah jenis motor induksi tiga fasa yang memiliki rotor dengan lilitan (belitan) yang terhubung ke rangkaian eksternal melalui komponen yang disebut *slip ring* dan sikat karbon. *Liquid starter* bekerja dengan menambahkan tahanan eksternal dalam bentuk cairan elektrolit ke rangkaian rotor, yang membantu mengontrol torsi dan arus saat start. [4]



Gambar 2.1 *Liquid Rotor Starter*

2.3 Prinsip Kerja Liquid Starter

Liquid Rotor Starter (LRS) merupakan perangkat pengasutan motor slip ring yang memanfaatkan resistansi eksternal berbasis larutan elektrolit untuk mengendalikan arus awal dan torsi saat motor mulai beroperasi. Sistem ini terdiri dari dua elektroda pada setiap fasa, di mana elektroda atas dapat bergerak vertikal mendekati atau menjauhi elektroda bawah yang tetap. Nilai resistansi maksimum (R_{max}) diperoleh ketika elektroda atas berada di posisi paling tinggi, sedangkan resistansi minimum (R_{min}) dicapai ketika kedua elektroda bersentuhan. Besarnya resistansi juga dipengaruhi oleh konduktivitas dan suhu elektrolit.

Pada saat motor mulai dihidupkan, slip bernilai 1 sehingga tegangan rotor (tegangan sekunder) berada pada titik tertinggi. Dalam kondisi ini, LRS mengatur elektroda tetap berada di posisi atas untuk membatasi lonjakan arus rotor. Seiring peningkatan kecepatan motor dan penurunan slip, tegangan rotor menurun, sehingga elektroda bergerak turun untuk mengurangi resistansi secara proporsional. Mekanisme ini menjaga arus rotor relatif konstan selama proses akselerasi. [5]

2.4 Metode Pengasutan Motor Industri

Pengasutan motor merupakan faktor penting dalam menjaga stabilitas sistem tenaga listrik, mengingat arus awal saat starting dapat mencapai 5–8 kali arus nominal sehingga memicu penurunan tegangan [6]. Berbagai metode starting digunakan sesuai kapasitas motor dan karakteristik beban. Direct On Line (DOL) menjadi metode paling sederhana, namun hanya efektif untuk motor di bawah 5 kW karena lonjakan arus awalnya tinggi. Untuk motor berkapasitas menengah hingga besar (5–100 kW), metode star delta atau autotransformer digunakan untuk mengurangi arus awal [7]. Pada motor berkapasitas sangat besar, seperti mill fan 500 kW di Tonasa 4, pengasutan menggunakan liquid starter menjadi solusi yang efektif. Liquid starter bekerja dengan menambahkan tahanan eksternal berupa cairan elektrolit pada rangkaian rotor motor slip ring, sehingga arus dan torsi awal dapat dikendalikan, meminimalkan beban sistem, dan memastikan starting yang lebih halus.

2.5 Smart Relay

Smart relay merupakan perangkat yang dibuat dengan tujuan sebagai pengendali otomatis yang dapat diprogram untuk mengoperasikan suatu proses sekuensial yang ditentukan [3]. Alat ini didesain dari *mikrokontroller* yang mengganti fungsi kendali relay dan kontaktor secara konvensional. Nama lain dari *smart relay* biasanya disebut mini PLC atau mikro PLC. Secara fungsi *smart relay* hampir sama dengan kendali PLC. Yang membedakan adalah fiturnya yang simple dan sederhana, karena dalam sistem kendalinya sudah disematkan instruksi *logika*, dan *counter*.



Gambar 2.2 *Smart Relay Zelio*

2.6 Zelio Soft 2

Zelio Soft adalah Aplikasi perangkat lunak yang digunakan untuk membuat program *smart relay*. *Software* ini adalah untuk memprogram dengan *type smart relay* Zelio. *Zelio Soft 2* digunakan untuk memonitoring ataupun mensimulasikan satu ataupun beberapa aplikasi yang diprogram dan *Zelio Soft 2* bisa diprogram dalam 2 metode yakni dengan LD (*Ladder Diagram*) dan FBD (*Fuction Block Diagram*). [8]

III. Metodologi

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada unit *Finish Mill* 4 PT.Semen Tonasa yang beralamat di Desa Bontoa, Kecamatan Biringere, Kabupaten Kepulauan Pangkajene, Sulawesi Selatan. Penelitian dilakukan dalam kurun waktu 2 bulan.

3.2 Teknik Pengambilan data

1. Studi Literatur : menggunakan buku, jurnal, dan sumber online terkait penelitian.
2. Observasi Langsung : Pengamatan dan pencatatan langsung di PT. Semen Tonasa
3. Wawancara : Tanya jawab dengan pihak terkait untuk memperoleh data valid
4. Dokumentasi : Mengumpulkan catatan, foto dan dokumen pendukung penelitian

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian terapan dengan pendekatan deskriptif-eksperimental. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai sistem kontrol, PLC, smart relay, dan prinsip kerja liquid rotor starter. Selanjutnya dilakukan observasi lapangan untuk menganalisis kondisi eksisting PLC CLMR pada Mill Fan 42FA07, termasuk pemetaan input-output dan konfigurasi wiring.

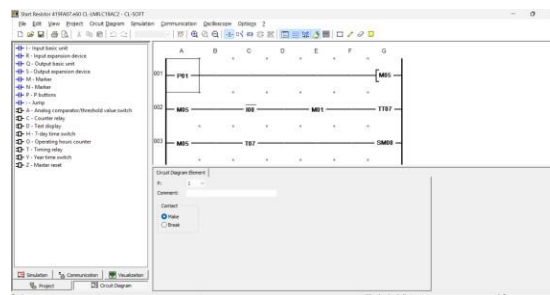
Sistem baru kemudian dirancang menggunakan Smart Relay Zelio dengan penyusunan logika ladder diagram pada software Zelio Soft 2, dilanjutkan simulasi untuk memastikan urutan logika berjalan sesuai rancangan. Setelah itu dilakukan implementasi fisik berupa instalasi wiring dan pemrograman Zelio pada sistem liquid starter, serta uji coba langsung di lapangan. Hasil implementasi kemudian dianalisis dengan membandingkan keandalan, efisiensi, dan kemudahan pemeliharaan antara sistem lama dan sistem baru sebagai dasar kesimpulan penelitian.

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

4.1.1 Kondisi Eksisting Menggunakan PLC CLMR

Sistem kontrol Mill Fan 42FA07 di Unit Finish Mill PT Semen Tonasa sebelumnya menggunakan PLC CLMR (Control Logic Modular Relay) sebagai pengendali logika terprogram untuk mengatur proses kerja liquid rotor starter pada motor induksi slip ring PLC tipe CL-LMR.C18AC2 ini diprogram menggunakan ladder diagram melalui software CL-SOFT 6, dengan logika yang mencakup marker, timer, relay, serta input dan output digital.. Ladder diagram PLC CLMR dapat dilihat pada Gambar 4.1 :



Gambar 4.1 *Ladder Diagram* PLC CLMR

Semua komponen terhubung melalui terminal I/O sesuai fungsi masing-masing, mengatur urutan kerja perangkat seperti resistor awal, kontaktor motor, dan sistem proteksi.

4.1.2 Prinsip Kerja CLMR

Prinsip kerja PLC CLMR pada sistem Liquid Rotor Starter dimulai dengan menerima sinyal input digital/analog dari sensor dan perangkat kontrol, seperti status motor, arus (CT), tegangan (VT), level dan suhu elektrolit, serta posisi elektroda. Data ini diproses melalui logika interlock di ladder diagram. Jika semua kondisi aman, PLC mengaktifkan aktuator untuk menurunkan elektroda ke larutan elektrolit secara bertahap, mengatur resistansi rotor, dan memantau arus agar tidak melebihi batas.

Jika parameter normal, elektroda turun hingga resistansi minimum, lalu PLC mengirim perintah hubung singkat slip ring sehingga motor beroperasi penuh. Dalam kondisi abnormal seperti overcurrent atau overheating, sistem otomatis berhenti dan memutus suplai daya.

Ladder diagram mengatur urutan kerja mulai dari aktivasi sistem, penghubungan resistor awal, pelepasan resistor, hingga suplai penuh ke motor, dengan kombinasi push button, marker, timer, relay, dan sensor. PLC menjadi pusat kendali untuk memastikan start motor slip ring berlangsung aman, efisien, dan bebas lonjakan arus, sekaligus menjamin integrasi sempurna dengan sistem Liquid Starter.

4.1.3 Liquid Rotor Starter

Liquid Rotor Starter adalah sistem starting khusus untuk motor induksi rotor belitan (slip ring motor) yang mengatur arus dan torsi saat start dengan menambahkan resistansi eksternal melalui larutan elektrolit. Sistem ini menggunakan elektroda tetap yang terhubung ke slip ring dan elektroda bergerak yang dapat dinaik-turunkan untuk mengubah resistansi. Pada awal start, elektroda berada di posisi atas untuk memberikan resistansi maksimum dan membatasi arus. Selama akselerasi, elektroda bergerak turun secara bertahap, mengurangi resistansi dan meningkatkan arus rotor hingga motor mencapai kecepatan nominal.

Proses dikendalikan PLC yang menerima input dari sensor level, suhu, arus, tegangan, dan posisi elektroda. Output PLC mengatur motor servo penggerak elektroda serta kontaktor utama (KM1), kontaktor short circuit (KM2), dan kontaktor penggerak elektroda (KM3). Pada sistem lanjutan, ada juga kontaktor pendingin (KM4) dan penguras/pengisi elektrolit (KM5). PLC memastikan urutan start aman dan menghentikan proses jika terjadi anomali seperti overcurrent atau overheating.

Ketika kecepatan penuh tercapai, KM2 menghubungkan singkat rotor sehingga motor beroperasi seperti motor induksi standar, elektroda kembali ke posisi atas, dan sistem siap untuk start berikutnya. Kombinasi resistansi elektrolit dan kendali otomatis PLC menjadikan Liquid Rotor Starter efisien, aman, dan andal untuk beban berat industri.

4.1.4 Merancang Program Smart Relay Zelio

1. Analisa Sistem Kontrol Sebelumnya (PLC CLMR)

Proses migrasi dari PLC CLMR ke Smart Relay Zelio diawali dengan analisis sistem eksisting untuk memahami detail fungsi kontrol yang ada, sehingga logika kerja lama dapat diadopsi sepenuhnya. Tahap ini mencakup pencatatan konfigurasi input seperti tombol start/stop, limit switch elektroda, serta sensor proteksi (suhu, tekanan, overload), dan output seperti relay resistor awal, kontaktor utama, pompa sirkulasi, serta indikator visual (buzzer/lampu). Identifikasi alamat I/O pada PLC lama menjadi acuan pemetaan ke Zelio. Selain itu, ladder diagram lama ditelaah untuk memahami urutan logika, termasuk delay resistor, interlock, pemutusan saat fault, dan pengendalian pompa. Tahapan ini menghasilkan gambaran teknis lengkap kerja sistem CLMR. Sistem kontrol PLC CLMR bekerja melalui urutan logika pada beberapa rung untuk mengatur starting motor dengan Liquid Rotor Starter.

1. Rung 1 mengatur start-stop: P01 (start) mengaktifkan M05 sebagai tanda sistem aktif, P02 (stop) mematikan M05.
2. Rung 2 memeriksa interlock awal: sensor I01–I05, I08, I11, I12 harus normal agar M01 aktif.
3. Rung 3 mengaktifkan resistor awal: M01 menyalakan SM08 dan memulai T07.
4. Rung 4 melepaskan resistor: setelah T07 selesai, SM08 mati dan M08 aktif.
5. Rung 5 memberi jeda transisi: M08 memicu T08 sebelum SM11 aktif.

6. Rung 6 mengaktifkan motor utama: SM11 menggerakkan RM11 untuk menyalakan kontaktor CC01.
7. Rung 7 memuat proteksi: input I01–I05 dan I11 memutus semua output jika ada kondisi abnormal.
8. Rung 8 mengatur indikator/alarm: marker status menyalakan Q05 dan D01–D07.
9. Rung 9 mengelola fungsi tambahan/SCC control: input khusus menjalankan sekuens seperti SQ03 dan SQ04.

2. Pemetaan Input dan Output pada Zelio

Perancangan sistem baru dimulai dengan proses pemetaan ulang konfigurasi input dan output dari sistem lama ke terminal I/O pada Zelio Smart Relay tipe SR3B261BD.

Migrasi dari PLC CLMR ke Smart Relay Zelio dilakukan dengan menjaga kesetaraan fungsi (functional equivalence) antara sistem lama dan baru. Seluruh input, output, timer, dan counter CLMR direpresentasikan secara tepat pada Zelio. Perbedaan jumlah I/O terjadi karena daftar Zelio mencakup terminal fisik sekaligus marker, relay internal, dan timer bantu yang tidak tercatat di CLMR. CLMR menamai I/O sesuai terminal fisik (mis. Q01), sedangkan Zelio sering mengaktifkan output melalui marker perantara (mis. M1), sehingga muncul elemen tambahan yang hanya berfungsi secara internal. Tabel I/O disusun untuk memuat komponen pengganti langsung dari CLMR, sehingga jumlah dan fungsinya setara dan dapat menjadi bukti teknis keberhasilan migrasi

3. Desain Program Ladder di Zelio Soft 2

Setelah pemetaan input-output selesai, logika kontrol sistem dirancang ulang di Zelio Soft 2 untuk mereplikasi fungsi PLC CLMR dalam bentuk ladder diagram yang sesuai fitur dan batasan Smart Relay Zelio. Proses dilakukan secara terstruktur, mencakup urutan start motor, aktivasi resistor awal, pengendalian elektroda, proteksi, dan alarm, dengan penyesuaian agar lebih fleksibel dan mudah dirawat.

Timer internal digunakan untuk mengatur durasi kerja resistor saat starting, sedangkan marker internal berfungsi sebagai penanda status antar-tahapan proses, mengurangi ketergantungan pada input fisik. Interlock dan proteksi berbasis sensor (suhu, level cairan, tekanan, arus lebih) diterapkan untuk menghentikan proses atau mengaktifkan alarm jika terdeteksi kondisi abnormal.

Logika kerja disusun dalam beberapa rung:

1. Rung 1, Start/Stop sistem melalui push button, memicu marker utama (M5).
2. Rung 2, Interlock awal memastikan kondisi aman sebelum resistor diaktifkan.
3. Rung 3, Aktivasi resistor awal (SM8) dan timer T7.
4. Rung 4, Pelepasan resistor setelah T7 selesai, mengaktifkan marker M8.
5. Rung 5, Timer T8 sebagai jeda sebelum motor utama aktif.
6. Rung 6, Aktivasi kontaktor utama motor.
7. Rung 7, Logika proteksi otomatis berdasarkan sensor.
8. Rung 8, Indikator dan alarm.
9. Rung 9, Fungsi tambahan/SCC control sesuai kebutuhan operasional.

Desain ini memastikan pengasutan motor slip ring dengan Liquid Rotor Starter berlangsung aman, bertahap, dan setara fungsi dengan sistem lama, sekaligus memanfaatkan fleksibilitas pemrograman Zelio.

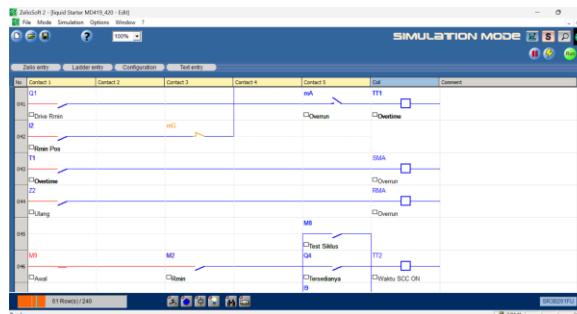
4. Simulasi Program

Setelah logika ladder disusun, program diuji menggunakan Simulation Mode di Zelio Soft 2 untuk memastikan transisi antar tahapan berjalan dan sesuai dengan rancangan sebelum diimplementasikan ke perangkat fisik. Pada tahap awal, gambar simulasi menunjukkan kondisi ketika tombol Start (I8) ditekan. Input ini memicu aktivasi marker M1 sebagai penanda sistem aktif, sekaligus memulai timer T1 untuk memberi jeda sebelum tahapan kontrol berikutnya. T1 berfungsi sebagai penunda awal agar sistem stabil sebelum mengaktifkan perangkat fisik seperti pompa atau elektroda. Dalam fase ini belum ada aksi mekanis, karena proses masih berada pada tahap inisialisasi dan persiapan pengendalian Liquid Starter. Simulasi start pada program zelio soft 2 dapat dilihat pada Gambar 4.2 :



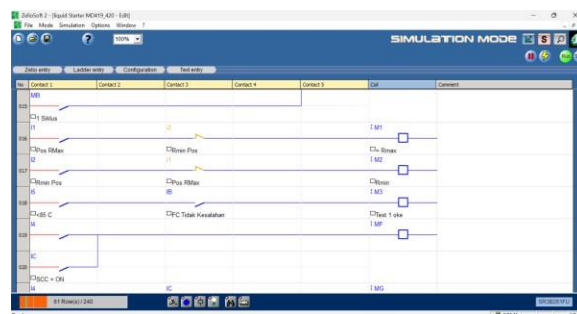
Gambar 4.2 Simulasi start

Pada tahap awal start-up, pompa sirkulasi cairan diaktifkan setelah timer T1 selesai sebagai tanda berakhirnya inialisasi sistem. Proses dimulai saat tombol Start (I8) ditekan, memicu marker M1 (indikator sistem aktif) dan menjalankan T1 sebagai jeda stabilisasi awal. Setelah T1 selesai, kombinasi sinyal M1 dan T1 mengaktifkan output Q3, yang menyalakan pompa untuk menjaga homogenitas suhu dan konsentrasi elektrolit sebelum pengasutan motor. Logika ini memastikan pompa hanya beroperasi setelah kondisi awal stabil, tanpa perlu input tambahan selain penekanan I8 di awal simulasi. Simulasi pompa aktif pada program zelio soft 2 dapat dilihat pada Gambar 4.3 :



Gambar 4.3 Simulasi pompa aktif

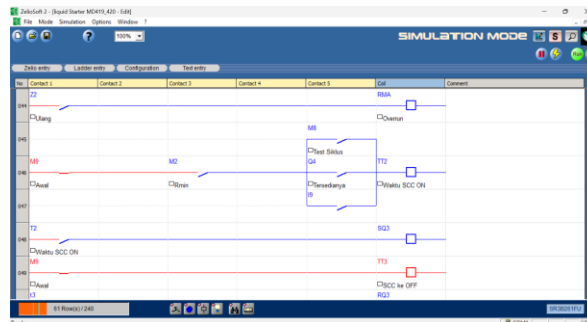
Pada tahap ini, sistem Liquid Starter siap melanjutkan proses pengasutan motor karena semua sensor penting berada dalam kondisi normal. Input I2 (sensor level elektrolit) dan I3 (status tegangan motor) aktif, menandakan level cairan aman dan tegangan sesuai standar. Kedua input ini menjadi bagian dari interlock pengaman yang mencegah proses lanjut jika syarat belum terpenuhi. Tidak ada timer aktif, sehingga sistem masih dalam fase validasi awal. Aktifnya M2 sebagai bit memori internal menandakan semua syarat keselamatan terpenuhi dan menjadi kunci logika untuk mengaktifkan proses berikutnya seperti pompa sirkulasi atau penurunan elektroda. Kondisi ini memastikan verifikasi sensor tercapai sebelum motor diizinkan beroperasi. Simulasi validasi sensor pada program zelio soft 2 dapat dilihat pada Gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Simulasi validasi sensor

Pada tahap ini, sistem Liquid Starter memasuki fase penghubungan motor ke jaringan melalui aktivasi kontaktor utama. Proses ini terjadi setelah semua syarat keselamatan terpenuhi, ditandai dengan

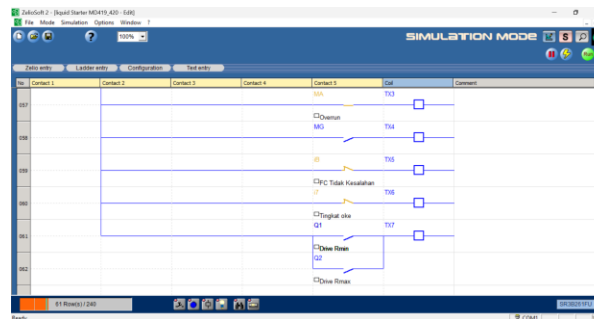
aktifnya M2 (sensor level elektrolit dan tegangan normal) serta selesainya timer T2 yang memberikan jeda setelah tahap sebelumnya. Kedua kondisi ini memicu output Q4 untuk mengaktifkan kontaktor utama, menghubungkan rotor motor ke catu daya melalui slip ring dan larutan elektrolit, sehingga motor mulai berakselerasi. Simulasi kontaktor aktif pada program zelio soft 2 dapat dilihat pada Gambar 4.5 :



Gambar 4.5 Simulasi kontaktor aktif

Pada kondisi simulasi motor utama aktif, sistem telah melewati seluruh tahap start, interlock, dan proteksi. Input yang aktif adalah I1 (sensor suhu/arus) yang menandakan kondisi motor aman. Semua proses pengecekan seperti sirkulasi cairan, level elektrolit, tegangan, suhu, dan arus telah memenuhi kriteria, sehingga timer tidak lagi aktif.

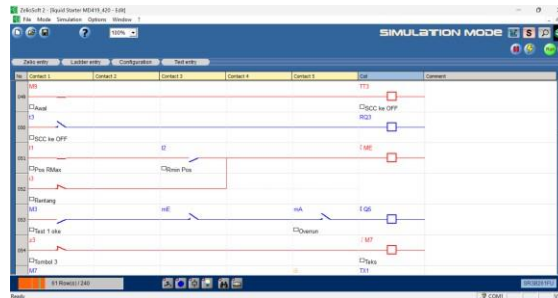
Responnya, output Q1 menyala untuk mengoperasikan motor utama (Mill Fan) dalam kondisi running. Aktivasi Q1 menunjukkan start berhasil, proteksi terlewati, dan motor bekerja stabil. Pada awalnya, tombol Start (I8) ditekan, lalu I1 aktif otomatis sebagai feedback aman dari motor. Dalam simulasi, cukup mengaktifkan I1 untuk memicu Q1, menandakan motor telah beroperasi penuh dan sistem liquid starter bekerja normal. Simulasi kontaktor aktif pada program zelio soft 2 dapat dilihat pada Gambar 4.6 :



Gambar 4.6 Simulasi motor utama aktif

Sistem mendeteksi level elektrolit di bawah batas aman atau sensor tidak mendeteksi cairan. Kondisi ini membuat sistem tertahan pada tahap interlock, tanpa input keselamatan aktif (I2/I3) dan tanpa timer berjalan. PLC menilai situasi sebagai tidak aman dan mengaktifkan output Q5 sebagai alarm visual atau audio untuk memperingatkan operator.

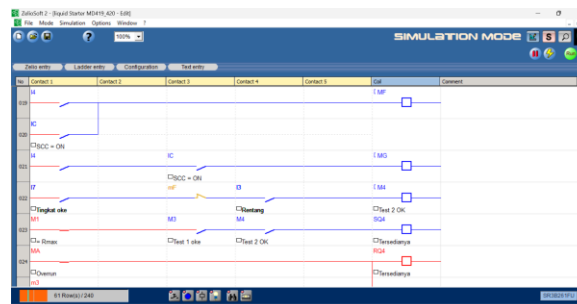
Jika tombol Start (I8) sudah ditekan sebelumnya, hilangnya sinyal I2 langsung memicu Q5 dan menghentikan proses pengasutan. Dalam simulasi, cukup nonaktifkan I2 setelah menekan I8, Q5 akan otomatis aktif sebagai tanda perlunya pengecekan dan perbaikan sebelum proses dilanjutkan. Simulasi sensor abnormal pada program zelio soft 2 dapat dilihat pada Gambar 4.7 :



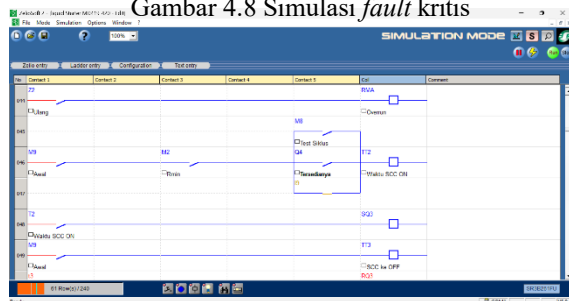
Gambar 4.7 Simulasi sensor abnormal

Pada simulasi fault kritis berlanjut, sistem mendeteksi kondisi berbahaya yang tidak segera diperbaiki (misalnya I2 OFF atau I3 OFF) sehingga meningkatkan respon dari warning menjadi alarm utama. Tidak ada input aktif maupun timer berjalan, karena sistem sudah masuk mode perlindungan penuh dan menghentikan seluruh proses.

Output Q6 otomatis aktif sebagai alarm kritis, biasanya sirine atau lampu merah untuk menandakan operasi harus dihentikan total. Kondisi ini bisa dipicu oleh sensor abnormal, interlock tidak terpenuhi, overcurrent, overtemperature, atau fault yang tidak di-reset dalam waktu tertentu. Sistem tidak dapat dijalankan kembali hingga penyebab fault diatasi dan operator menekan tombol Reset (I7). Simulasi *fault* kritis pada program zelio soft 2 dapat dilihat pada Gambar 4.8 :



Gambar 4.8 Simulasi *fault* kritis



Gambar 4.9 Simulasi tombol stop ditekan

Pada simulasi tombol Stop (I9) ditekan, sistem langsung masuk mode shutdown, memutus seluruh proses tanpa menunggu siklus atau timer selesai. Sinyal I9 mematikan semua output (Q1, Q3, Q4, Q5, Q6) dan mereset timer, mengembalikan sistem ke kondisi standby. Tombol Stop menggunakan kontak NC pada ladder diagram untuk keamanan fail safe, sehingga kabel terputus pun dianggap perintah berhenti.

4.1.5 Input dan Output Sistem Sebelum dan Sesudah Migrasi

Perbedaan utama CLMR dan Zelio terletak pada format penamaan, bukan fungsi. Tombol operasi di CLMR menggunakan P01–P04, sedangkan Zelio memakai Z1–Z4, keduanya berfungsi sebagai input manual (start, reset, mode khusus, uji coba). Input digital CLMR menggunakan I01–Ixx, sementara Zelio

I1–I9; output digital CLMR Q01–Q05, Zelio Q1–Q5, sama-sama mengendalikan aktuator atau indikator.

Relay/marker internal pada kedua sistem memakai RM, SM, dan M, sedangkan display CLMR berlabel Dxx, Zelio Xx. CLMR memiliki tag khusus seperti FC, iB, dan Test 1 untuk sensor atau interlock tertentu.

Zelio mengelompokkan input (I), output (Q), marker (M), dan timer (T/TT) dengan jelas. Migrasi dari CLMR ke Zelio meningkatkan efisiensi dan keamanan: CLMR menggunakan logika sederhana dengan proteksi minim, sementara Zelio mengintegrasikan ladder diagram modular, urutan kerja berbasis kondisi, proteksi otomatis (Q5, Q6), dan visualisasi status. Input seperti tombol start, sensor level, tegangan rotor, dan sensor suhu bekerja berurutan melalui marker dan timer, memastikan setiap tahap hanya berjalan jika tahap sebelumnya aman. Output diaktifkan bertahap dengan proteksi terstruktur untuk menjaga keandalan sistem.

4.2 Pembahasan Hasil

4.2.1 Kondisi Awal Sistem Liquid Starter di Lapangan

Sebelum migrasi, sistem liquid rotor starter pada Mill Fan 42FA07 di unit Finish Mill PT Semen Tonasa menggunakan PLC CLMR untuk mengatur motor induksi slip ring dengan pengaturan resistansi awal berbasis cairan elektrolit. Sistem ini terdiri dari motor utama, pompa sirkulasi, mekanisme elektroda naik-turun, serta perangkat proteksi seperti sensor level, sensor suhu, dan limit switch, yang dikendalikan oleh logika ladder pada PLC.

4.2.2 Sistem Setelah Migrasi

Setelah migrasi dari PLC CLMR ke Smart Relay Zelio, sistem kontrol mengalami peningkatan signifikan dalam struktur pengendalian, efisiensi, dan kemudahan pemeliharaan. Fungsi utama seperti start motor melalui penurunan resistansi bertahap, pengoperasian pompa sirkulasi cairan elektrolit, dan proteksi tetap dipertahankan, namun kini seluruh proses dikendalikan otomatis melalui program ladder di Zelio.

Seluruh input-output sistem lama telah dipetakan ulang ke Zelio, termasuk tombol start/stop, sensor suhu, sensor level, limit switch, serta output pompa, elektroda, dan alarm. Timer dapat diatur fleksibel melalui Zelio Soft 2. Sistem baru memiliki alarm proteksi lebih jelas dan responsif, seperti pemutusan rangkaian otomatis saat level cairan rendah atau suhu berlebih. Tabel berikut menunjukkan perbandingan contoh logika kerja dan pemetaan I/O antara PLC CLMR dan Smart Relay Zelio. Format mencakup tag, perilaku ON/OFF. Perbandingan tersebut menunjukkan kesetaraan fungsi kontrol antara PLC CLMR dan Smart Relay Zelio dalam sistem Liquid Starter. Input digital seperti tombol start, stop, sensor level, dan proteksi dipetakan langsung ke input zelio sehingga fungsi interlock tetap terjaga. Begitu pula output utama, seperti relay resistor, kontaktor motor, pompa sirkulasi, dan alarm, dialihkan ke output zelio dengan penamaan berbeda namun fungsi identik. Fungsi internal seperti marker, timer, dan counter tetap dipertahankan dengan format Zelio yang lebih sederhana dan modular. Dengan pemetaan ini, meskipun terjadi perubahan platform, seluruh fungsi dasar sistem tetap berjalan konsisten, bahkan lebih mudah dalam pemrograman dan pemeliharaan.

Dari hasil perbandingan, dapat disimpulkan bahwa seluruh fungsi kontrol pada PLC CLMR dapat dimigrasikan secara penuh ke Smart Relay Zelio dengan pemetaan I/O yang setara. Perbedaan hanya terletak pada format penamaan tag, namun fungsi logika, interlock, timer, counter, dan alarm tetap terjaga. Migrasi ini menjadikan sistem lebih sederhana, mudah diprogram, serta lebih fleksibel dalam pemeliharaan tanpa mengurangi keandalan dan fungsi utama sistem Liquid Starter.

V. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian mengenai migrasi sistem kontrol liquid starter mill fan dari PLC CLMR ke Smart Relay Zelio di Finish Mill 4, dapat disimpulkan bahwa perancangan program Zelio berhasil mengadopsi logika kontrol dari sistem sebelumnya dengan mencakup pemetaan ulang input dan output, penyusunan urutan kerja start run motor, penggunaan timer untuk penundaan aktivasi resistor, serta pengendalian kontaktor utama dan alarm sistem, sehingga terbukti mampu menjalankan fungsi kontrol dasar liquid starter secara handal. Instalasi sistem kontrol pasca migrasi juga berhasil diimplementasikan dengan

desain wiring yang disesuaikan pada struktur Zelio SR3B261FU, sehingga seluruh perangkat seperti tombol start, sensor tekanan dan suhu, limit switch, relay, dan kontaktor dapat terintegrasi secara sistematis sekaligus mendukung kemudahan pemantauan dan pemeliharaan.

Sebagai tindak lanjut, disarankan agar teknisi dan manajemen pemeliharaan PT Semen Tonasa maupun industri sejenis mengadopsi smart relay seperti Zelio sebagai pengganti sistem lama karena lebih ekonomis, fleksibel, mudah diprogram, mempercepat perbaikan, mengurangi downtime, serta meningkatkan efisiensi operasional. Penelitian lanjutan juga perlu dilakukan dengan pendekatan komparatif menggunakan berbagai merek smart relay dan fokus kuantitatif pada efisiensi energi, waktu siklus, serta analisis biaya untuk memperkuat aspek ekonomis migrasi sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Dyatmiko and A. Chalim, "Evaluasi Perhitungan Neraca Energi Finish Mill Di Pt Semen Indonesia Persero Tbk Tuban," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 4, pp. 806–814, 2023, doi: 10.33795/distilat.v8i4.417.
- [2] R. Puspita *et al.*, "EVALUASI KINERJA ALAT MILL FAN DI CEMENT MILL PADA PT SEMEN BATURAJA PERSERO Tbk . Pada unit cement mill 05 di PT . SEMEN BATURAJA secara garis a . Vertical Cement Mill," 2022.
- [3] P. Bunga, M. Pakiding, and Silimang Sartje, "Perancangan Sistem Pengendalian Beban Dari Jarak Jauh Menggunakan Smart Relay," *J. Tek. Elektro dan Komput. Univ. Sam Ratulangi Manad.*, vol. 4, no. 5, pp. 65–75, 2015.
- [4] F. Rivando, M. Surojo, M. I. Nugraha, and M. Eng, "Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan Sistem Perbaikan Faktor Daya Motor Slip Ring 3 Phase Menggunakan Kontrol Arduino," pp. 1–6, 2022.
- [5] S. A. Aulia, N. Soedjarwanto, and S. Safaruddin, "Analisis Starting Main Motor Coal Mill Dengan Liquid Resistance Starter Di Pt Semen Baturaja Tbk," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3s1, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3587.
- [6] A. Dani and D. Erivianto, "SISTEM PENGASUTAN DOL DAN STAR DELTA MENGGUNAKAN AUTOMATION STUDIO Sekolah Tinggi Teknologi Sinar Husni Sumatra , Indonesia * Correspondence INFO ARTIKEL Diterima : 06-04-2023 Direvisi : 10-04-2023 Disetujui : 14-04-2023 ABSTRAK Pendahuluan Penggunaan mot," vol. 4, no. 4, pp. 413–423, 2023.
- [7] G. N. Alivsky, "Pengujian Arus Pada Modul Praktikum Starting Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Dol, Wye-Delta, Dan Soft Starting," p. 129, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/48185/>
- [8] A. Syamsul, D. Suddin, A. Hafid, and Adriani, "Perancangan Sequential Time Programable Logic Control (PLC) Smart Relay pada System Blasting Cyclone Preheater di PT. Semen Tonasa," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 8, no. 2, pp. 18852–18858, 2024.