

Shaking Dust Collector Control System Using a Zelio PLC on The Tonasa Lines IX Vessel

Nurfadillah Usman^{*1}, Andi Bayasid Sultanul M^{*2}, Muhammad Fitrah Novriansyah^{*3},
Muhammad Fadli Azis⁴, Al Mahdali⁵

^{1,2,3,4,5}Politeknik ATI Makassar

e-mail: 23osp026@atim.ac.id^{*}, 23osp036@atim.ac.id^{*}, 23osp064@atim.ac.id^{*}, fadli@atim.ac.id,
alhmahdali@atim.ac.id

Abstract

A shaking dust collector is a dust control system on cement carrier ships that operates via a vibration mechanism to release dust particles from the filter media. The conventional control system on the Tonasa Lines IX ship utilizes numerous electromechanical components such as analog timers, relays, contactors, and control transformers that have been in operation for approximately 52 years, making them prone to short circuits and breakdowns that disrupt cargo loading and unloading operations. This study aims to design, implement, and evaluate a shaking dust collector control system based on the Zelio Smart Relay SR2A101BD PLC as a replacement for the conventional system. The methodology employed is research and development (R&D), comprising existing system analysis, control circuit and function block diagram programming design, component installation, and system performance testing. Test results demonstrate that the Zelio Smart Relay PLC-based system successfully controls 3 shaker motor units automatically and sequentially with an operating duration of 30 seconds each and a delay time of 30 seconds between cycles, completely adhering to the programmed values (100% compliance rate across 6 test scenarios). Compared to the conventional system, the PLC implementation successfully simplified the control circuit by eliminating the use of control transformers and several analog timers, resulting in more compact panel wiring, easier troubleshooting, and a minimized risk of damage due to short circuits.

Keywords: Shaking Dust Collector; PLC; Zelio Smart Relay; Cement Carrier Ship; Control System

Abstrak

Shaking dust collector merupakan sistem pengendalian debu pada kapal pengangkut semen yang bekerja dengan mekanisme getaran untuk melepaskan partikel debu dari media filter. Sistem kontrol konvensional di kapal Tonasa Lines IX menggunakan banyak komponen elektromekanik seperti timer analog, relay, kontaktor, dan trafo kontrol yang telah beroperasi selama kurang lebih 52 tahun, sehingga rentan mengalami korsleting dan kerusakan yang menyebabkan gangguan operasional bongkar muat. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem kontrol shaking dust collector berbasis PLC Zelio Smart Relay SR2A101BD sebagai pengganti sistem konvensional. Metode yang digunakan adalah rancang bangun (research and development), meliputi analisis sistem eksisting, perancangan rangkaian kontrol dan program function block diagram, pemasangan komponen, serta pengujian kinerja sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berbasis PLC Zelio Smart Relay mampu mengendalikan 3 unit motor shaker secara otomatis dan bergantian dengan durasi kerja masing-masing 30 detik dan waktu tunda (delay) antar siklus 30 detik, seluruhnya sesuai dengan nilai yang telah diprogram (tingkat kesesuaian 100% pada 6 skenario pengujian). Dibandingkan sistem konvensional, penerapan PLC berhasil menyederhanakan rangkaian kontrol dengan mengeliminasi penggunaan trafo kontrol dan beberapa timer analog, sehingga wiring panel menjadi lebih ringkas, proses troubleshooting lebih mudah, dan risiko kerusakan akibat korsleting dapat diminimalkan.

Kata Kunci: Shaking Dust Collector; PLC; Zelio Smart Relay; Kapal Pengangkut Semen; Sistem Kontrol.

1. Pendahuluan

Di era transformasi industri modern, *Programmable Logic Controllers* (PLCs) memegang peranan yang sangat krusial sebagai komponen utama dalam mendukung terciptanya pabrik pintar dan arsitektur infrastruktur industri yang berkelanjutan [1]. Pesatnya kemajuan teknologi

otomasi telah membuka peluang besar bagi dunia industri untuk mengoptimalkan seluruh rantai operasional demi mencapai hasil produksi yang lebih efisien, cepat, dan tepat sasaran [2]. Dalam konteks sistem kontrol kelistrikan, PLC bertindak sebagai unit pemrosesan pusat (*central processing unit*) yang bertugas mengamati dan menganalisis sinyal masukan (*input*) dari lapangan untuk kemudian mengambil tindakan eksekusi yang spesifik terhadap berbagai aktuator keluaran (*output*) [3]. Peran teknologi ini menjadi kian vital karena posisinya yang berada tepat di garis batas antara dunia digital dan fisik dalam ekosistem sistem siber-fisik yang kompleks [4].

Di sisi lain, perkembangan aktivitas industri juga membawa tantangan lingkungan dan keselamatan kerja yang signifikan. Permasalahan polusi udara akibat sebaran debu industri yang dilepaskan ke lingkungan kerja merupakan tantangan serius karena berdampak buruk bagi kesehatan pernapasan para pekerja serta menurunkan tingkat produktivitas [5]. Khususnya di lingkungan maritim, pengelolaan limbah udara dari berbagai proses mekanis di atas kapal menjadi salah satu prioritas utama guna mendukung implementasi konsep pelayaran ramah lingkungan (*green shipping*) [6]. Secara teknis, keberhasilan sistem pengumpulan debu (*dust collection system*) sangat bergantung pada pengaturan kecepatan aliran udara di dalam saluran pipa, yang mana harus dipantau dan dikontrol secara berkala untuk menjaga efisiensi transportasi partikel agar tidak mengendap [7]. Oleh karena itu, penerapan filter kain pada sistem ventilasi dianggap sebagai solusi yang sangat efektif dari segi biaya (*cost-effective*) dalam mengontrol konsentrasi kontaminan di area kerja yang luas [8].

Salah satu teknologi filtrasi yang paling banyak diterapkan di lapangan adalah *Shaker Dust Collector* (SDC), yang mengandalkan sistem filtrasi standar untuk memisahkan partikel-partikel kering dari aliran udara [8]. Secara operasional, sistem ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tekanan (*differential pressure*) di berbagai lokasi strategis di dalam sirkuit pipa untuk memastikan bahwa debu dapat terhisap dan terpisah secara optimal [7]. Keberadaan desain pengumpul debu otomatis sangat diperlukan, terutama di area operasional industri kapal, untuk mencegah akumulasi debu secara masif yang berpotensi merusak dan mengganggu kinerja mesin-mesin utama [6]. Penentuan dan pengaturan parameter pembersihan yang tepat melalui pengontrol otomatis dapat meminimalisir waktu henti produksi (*downtime*) akibat kegagalan atau penyumbatan pada sistem filtrasi [5].

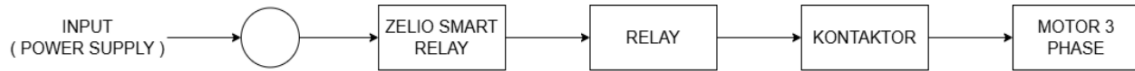
Untuk menggerakkan sistem kontrol otomasi tersebut secara optimal, implementasi pengontrol cerdas seperti *Zelio smart relay* memberikan energi baru bagi teknologi otomasi kelistrikan karena karakteristik perangkatnya yang sangat andal dan stabil [9]. Dukungan penggunaan perangkat lunak *Zelio Soft2* turut memudahkan para teknisi dalam merancang, mensimulasikan, dan menguji logika kontrol melalui bahasa pemrograman *Ladder Diagram* (LD) yang terstruktur dan intuitif [2]. Selain keandalan pemrogramannya, keunggulan lain dari sistem berbasis PLC adalah kemampuannya untuk melakukan pemantauan jarak jauh (*remote monitoring*) serta memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi dalam penambahan modul ekspansi sesuai kebutuhan skala industri [1]. Di samping itu, penggunaan teknologi ini memungkinkan proses deteksi kesalahan (*fault detection*) program secara presisi, sehingga mampu meningkatkan keamanan dan keselamatan operasional sistem yang dijalankan [3].

Secara keseluruhan, upaya optimalisasi pada sistem kontrol industri sangat dibutuhkan guna menjawab tantangan kompleksitas sistem yang terus meningkat pesat di era modern saat ini [10]. Proses perencanaan arsitektur sistem otomasi yang matang mulai dari tahap pemilihan perangkat keras (*hardware*) hingga integrasi perangkat lunak (*software*) menjadi fondasi paling utama bagi terciptanya stabilitas operasional [11]. Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini berfokus pada rancang bangun sistem kontrol *shaking dust collector* di Kapal Tonasa Lines IX guna mendukung terciptanya lingkungan kerja yang lebih bersih, aman, dan sehat bagi para kru kapal [6]. Melalui penerapan strategi kontrol otomasi yang lebih akurat, diharapkan sistem ini mampu menyeimbangkan antara performa pembersihan filter yang tinggi dengan konsumsi energi yang tetap efisien [7].

2. Metode Penelitian

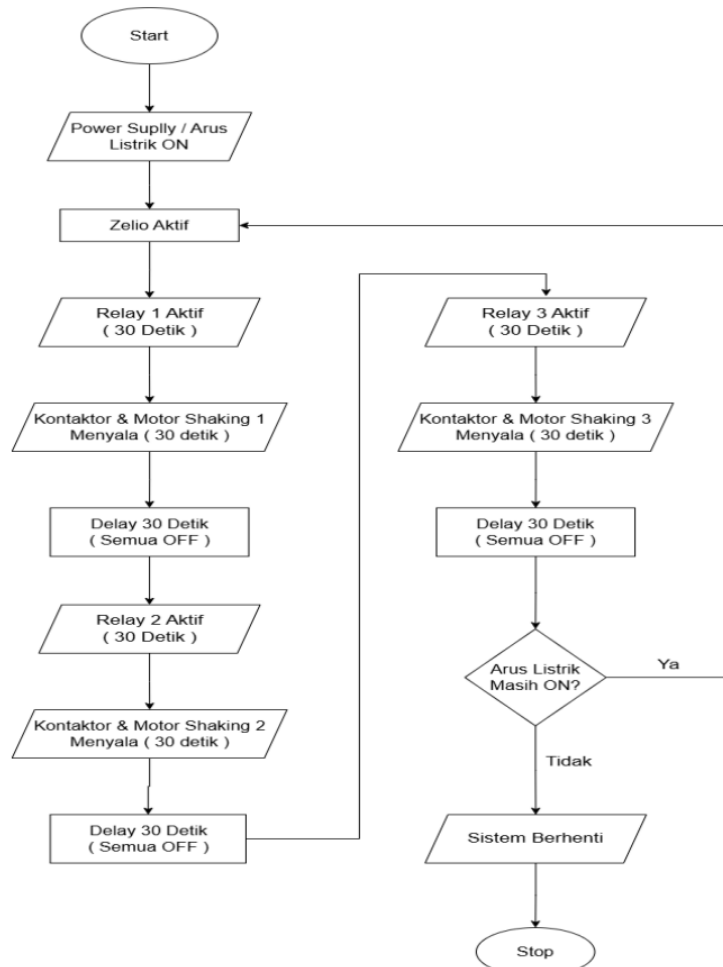
Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun (*research and development*) yang difokuskan pada pembaruan sistem otomasi industri di lingkungan maritim. Tahap awal penelitian dimulai dengan melakukan analisis terhadap sistem kontrol *shaking dust collector* eksisting yang sedang beroperasi di Kapal Tonasa Lines IX. Evaluasi difokuskan pada identifikasi kelemahan komponen elektromekanik konvensional seperti penggunaan trafo kontrol, berbagai *timer* analog, *relay*, dan kontaktor yang telah beroperasi selama kurang lebih 52 tahun, di mana kompleksitas

jalurnya menyebabkan *wiring* panel menjadi sangat rumit serta rentan terhadap risiko korsleting dan kerusakan yang mengganggu operasional bongkar muat semen. Gambaran umum arsitektur dan skema kelistrikan dari sistem kontrol yang dirancang untuk mengatasi permasalahan tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



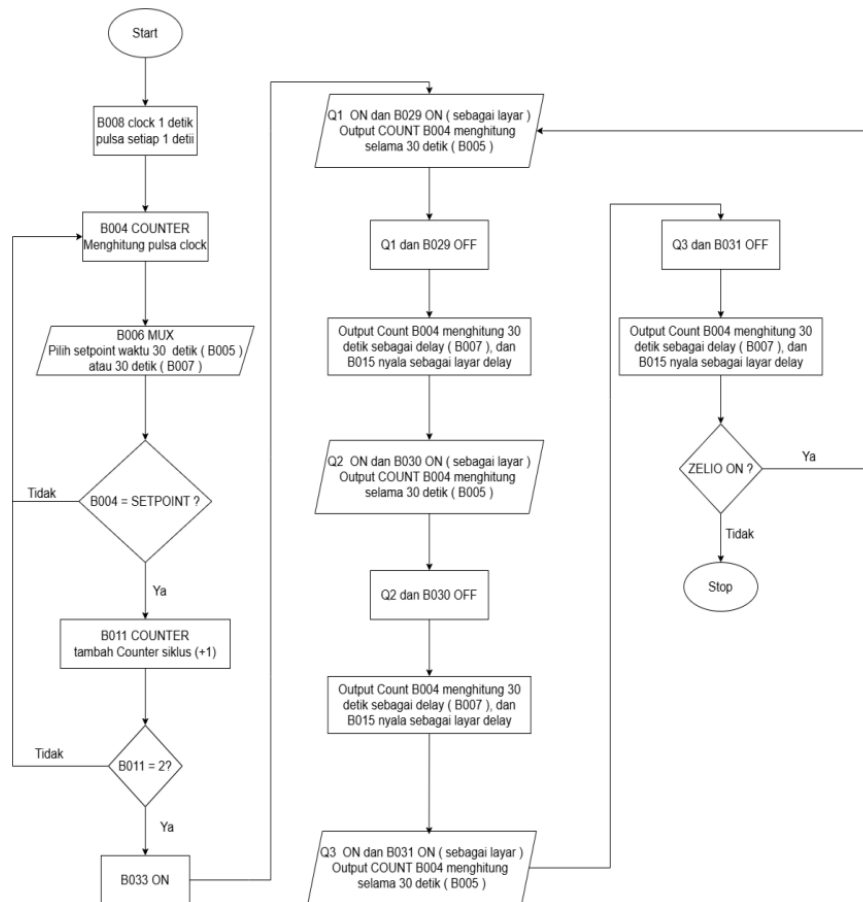
Gambar 1. Sistem Kontrol Shaking Dust Collector Berbasis Zelio Smart Relay

Selanjutnya, perancangan logika operasional sistem dilakukan secara menyeluruh guna menentukan alur kerja kontrol pengumpul debu secara otomatis. Proses ini mencakup pemetaan kondisi masukan (*input*) dari tombol kontrol hingga keluaran (*output*) aktuator yang menggerakkan 3 unit motor *shaker* secara aman dan terinterlock. Seluruh alur kerja dan urutan kendali operasional dari sistem *shaking dust collector* tersebut ditampilkan pada Gambar 2.



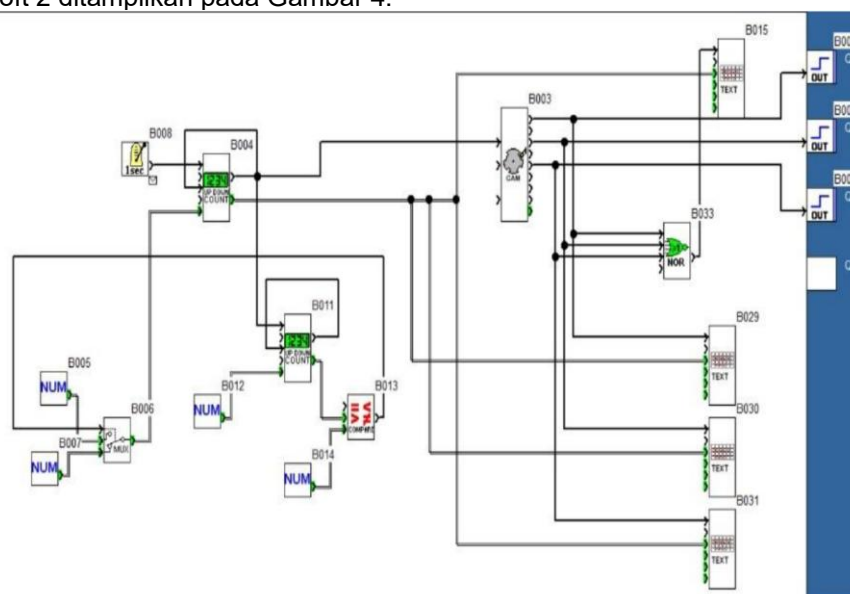
Gambar 2. Flowchart Sistem Kontrol Shaking Dust Collector

Berjalan sejajar dengan perancangan alur sistem utama, algoritma pemrograman dikembangkan secara khusus untuk unit pemroses utama (*Programmable Logic Controller*). Pemrograman pada PLC Zelio *Smart Relay* tipe SR2A101BD ini mengatur pewaktuan presisi, di mana setiap motor *shaker* bekerja memukul/menggetarkan filter selama 30 detik dan diberikan waktu tunda (*delay*) inter-siklus sebesar 30 detik untuk mencegah lonjakan arus secara bersamaan. Alur program dan siklus eksekusi internal PLC Zelio tersebut ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart PLC Zelio

Proses translasi dari *flowchart* ke dalam instruksi logika kontrol dilakukan menggunakan perangkat lunak Zelio Soft 2 melalui bahasa pemrograman *Function Block Diagram* (FBD). Pemrograman FBD ini memanfaatkan kombinasi blok *timer* (TON/Flash Timer) dan gerbang logika untuk memastikan eksekusi sekuensial berjalan otomatis dan bergantian secara tepat. Bentuk susunan blok-blok fungsi (*Function Block*) logika kontrol di dalam lembar kerja perangkat lunak Zelio Soft 2 ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rancangan Function Block Pemrograman FBD pada Zelio Soft 2

Untuk melengkapi perancangan perangkat lunak, dilakukan pula konfigurasi parameter teknis pada blok fungsi khusus yang digunakan di Zelio Soft 2. Konfigurasi ini mencakup pemetaan masukan dan keluaran fisik (*physical output*), alokasi memori *internal relay*, serta pengaturan tabel *CAM block* yang mendefinisikan urutan pewaktuan kerja motor secara sekuensial. Rincian pengaturan parameter *configurable functions*, *physical output*, dan tabel *CAM block* tersebut ditampilkan pada Gambar 5.

Configurable functions

No	Symbol	Function	Lock	Latching	Parameters	Comment
B003		CAM BLOCK	Yes	No	See details below	
B004		Updown counter	—	No	No parameters	
B005		Numerical constant	No	—	Value of the constant : 15	
B007		Numerical constant	No	—	Value of the constant : 30	
B011		Updown counter	—	No	No parameters	
B012		Numerical constant	Yes	—	Value of the constant : 2	
B013		Comparison of 2 values	—	—	VALEUR 1 = VALEUR 2	
B014		Numerical constant	Yes	—	Value of the constant : 0	
B015		Text	—	—	See details below	
B029		Text	—	—	See details below	
B030		Text	—	—	See details below	
B031		Text	—	—	See details below	

Gambar 5. Table Configurable Functions, Physical Output, dan CAM Block

Tahap akhir dari metodologi ini adalah perakitan komponen fisik di dalam panel kontrol kapal serta dilanjutkan dengan pengujian kinerja sistem secara menyeluruh. Pengujian operasional dilakukan dengan menerapkan 6 skenario pengujian yang berbeda untuk memvalidasi tingkat kesesuaian eksekusi program FBD terhadap pergerakan fisik 3 unit motor *shaker*. Parameter utama yang dievaluasi mencakup akurasi durasi waktu kerja motor, ketepatan waktu tunda (*delay*), kepresisian sekuens pembersihan filter, serta kestabilan proteksi kelistrikan guna memastikan sistem baru bebas dari risiko korsleting dan gangguan operasional di Kapal Tonasa Lines IX.

3. Hasil dan diskusi

Bagian ini menguraikan data hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kontrol *shaking dust collector* berbasis PLC Zelio *Smart Relay* SR2A101BD. Hasil-hasil pengujian yang diperoleh dianalisis dan dibahas untuk mengevaluasi efektivitas serta keandalan sistem baru jika dibandingkan dengan sistem konvensional eksisting.

3.1. Hasil

Pengujian tahap pertama difokuskan pada validasi respon masukan (*input*) dan keluaran (*output*) fisik PLC terhadap siklus kerja 3 unit motor *shaker*. Pengujian dilakukan melalui 6 kondisi operasional yang mencakup fase aktif (*shaking*) dan fase jeda (*delay*). Setiap fase pengujian diamati untuk memastikan ketepatan eksekusi kontaktor magnetik serta keterhubungan *relay* internal PLC. Hasil pengujian fungsionalitas sistem kontrol Zelio secara riil di lapangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Zelio Sistem Kontrol

No.	Kondisi	Input	Output	Hasil Lapangan	Status
1	Zelio aktif	Relay 1 aktif selama 30 detik	Kontaktor 1 dan motor shaking 1 Aktif selama 30 detik	Sesuai	Berhasil
2	Zelio <i>delay</i>	Relay tidak aktif Selama 30 detik	Kontaktor dan motor shaking Tidak aktif	Sesuai	Berhasil

No.	Kondisi	Input	Output	Hasil Lapangan	Status
3	Zelio aktif	Relay 2 aktif selama 30 detik	Kontaktor 2 dan motor shaking 2 Aktif selama 30 detik	Sesuai	Berhasil
4	Zelio <i>delay</i>	Relay tidak aktif Selama 30 detik	Kontaktor dan motor shaking Tidak aktif	Sesuai	Berhasil
5	Zelio aktif	Relay 3 aktif selama 30 detik	Kontaktor 3 dan motor shaking 3 Aktif selama 30 detik	Sesuai	Berhasil
6	Zelio <i>delay</i>	Relay tidak aktif Selama 30 detik	Kontaktor dan motor shaking Tidak aktif	Sesuai	Berhasil

Pengujian tahap kedua dilakukan untuk mengukur tingkat kepresisian pewaktuan ($T_{set} = 30$ detik) serta fenomena *freewheeling* (waktu inersia putaran sisa motor hingga benar-benar berhenti) pada masing-masing motor *shaking* setelah sinyal *output* PLC diputus. Pengukuran ini dilakukan secara akurat menggunakan bantuan *timer* digital. Data hasil pengujian pewaktuan dan *freewheeling* motor disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Motor Shaking Menggunakan Timer Pada HP

No.	Proses	T set (30 Detik)	Freewheeling	Status
1	Shaking Motor 1	Sesuai	5,01 detik	Berhasil
2	Delay 1	Sesuai	0,27 detik	Berhasil
3	Shaking Motor 2	Sesuai	4,15 detik	Berhasil
4	Delay 2	Sesuai	0,30 detik	Berhasil
5	Shaking Motor 3	Sesuai	3,07 detik	Berhasil
6	Delay 3	Sesuai	0,55 detik	Berhasil

Sebagai bentuk evaluasi terhadap pembaruan sistem, dilakukan analisis perbandingan parameter teknis dan operasional antara sistem kontrol konvensional eksisting yang telah beroperasi selama puluhan tahun dengan sistem kontrol berbasis PLC Zelio *Smart Relay* yang baru dirancang. Matriks perbandingan kedua sistem tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Sistem Kontrol Konvensional dan Sistem Kontrol Berbasis PLC Zelio *Smart Relay*

No.	Parameter	Sistem Konvensional	Sistem PLC Zelio <i>Smart Relay</i>
1	Pengendalian utama	Menggunakan banyak Timer Relay dan relay kontrol	Menggunakan PLC Zelio <i>Smart Relay</i>
2	Jumlah komponen kontrol	Relatif banyak	Lebih sedikit
3	Timer	Menggunakan beberapa Timer fisik	Timer terintegrasi dalam PLC
4	Wiring panel	Rumit dan padat	Lebih sederhana dan rapi
5	Ruang panel	Membutuhkan ruang lebih besar	Lebih hemat ruang
6	Modifikasi program	Harus mengubah wiring dan timer secara manual	Cukup mengubah program Pada PLC
7	Troble shooting	Sulit karena banyak Komponen dan kabel	Lebih mudah karena Terpusat Pada PLC

No.	Parameter	Sistem Konvensional	Sistem PLC Zelio Smart Relay
8	Perawatan	Lebih Kompleks	Lebih mudah
9	Keandalan sistem	Rentan gangguan akibat banyak komponen	Lebih andal karna fungsi Kontrol terintegrasi
10	Operasi Shaking Dust Collector	Menggunakan rangkaian kontrol konvensional	Beroperasi otomatis berdasarkan program PLC

3.2. Diskusi

Hasil pengujian lapangan yang terekam pada Tabel 1 hingga Tabel 3 secara konsisten membuktikan bahwa penggantian sistem kontrol konvensional menjadi berbasis PLC Zelio *Smart Relay* SR2A101BD di Kapal Tonasa Lines IX memberikan peningkatan performa operasional yang sangat signifikan. Pengujian fungsionalitas (Tabel 1) menunjukkan bahwa seluruh urutan perintah sekuensial berjalan dengan tingkat keberhasilan 100%. PLC secara akurat mengaktifkan motor *shaking* 1, 2, dan 3 masing-masing selama 30 detik secara bergantian yang diselingi oleh durasi *delay* 30 detik antar fase, tanpa sekalipun terjadi kondisi keliru atau bentrokan daya (*overlapping*).

Pada aspek kepresisian waktu (Tabel 2), parameter *T set* 30 detik yang diprogram pada *software* Zelio Soft 2 terealisasi dengan sangat tepat. Pengamatan terhadap waktu *freewheeling* memberikan wawasan teknis yang penting mengenai karakteristik mekanis masing-masing motor. Motor *shaking* 1 mencatatkan waktu *freewheeling* terbesar yaitu 5,01 detik, disusul Motor 2 sebesar 4,15 detik, dan Motor 3 sebesar 3,07 detik, sedangkan waktu *freewheeling* pada kondisi *delay* bernilai sangat kecil (0,27–0,55 detik). Keberadaan interval waktu tunda (*delay*) sebesar 30 detik yang dirancang di dalam PLC terbukti sangat krusial; durasi *delay* tersebut memberikan margin waktu yang lebih dari cukup bagi motor untuk benar-benar berhenti berputar secara alami dari masa *freewheeling*-nya sebelum motor berikutnya diaktifkan. Hal ini secara efektif mencegah timbulnya arus mula (*inrush current*) berlebih yang dapat membebani jaringan listrik kapal.

Secara keseluruhan, analisis perbandingan pada Tabel 3 mempertegas keunggulan dari implementasi *smart relay*. Dengan mengeliminasi trafo kontrol, berbagai *timer* fisik, dan *relay* elektromekanik konvensional, tata letak *wiring* di dalam panel menjadi jauh lebih sederhana, rapi, dan hemat ruang. Fleksibilitas sistem meningkat pesat karena perubahan parameter waktu atau logika pembersihan filter di masa mendatang cukup dilakukan melalui perangkat lunak tanpa perlu membongkar atau merangkai ulang kabel panel secara manual. Selain itu, pemusatan kontrol pada satu unit PLC mempermudah proses deteksi kesalahan (*fault detection*) dan pemeliharaan rutin, sehingga risiko korsleting listrik yang selama ini mengganggu aktivitas bongkar muat semen di Kapal Tonasa Lines IX dapat diminimalkan secara optimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol *shaking dust collector* berbasis PLC Zelio *Smart Relay* SR2A101BD berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk menggantikan sistem kontrol konvensional di Kapal Tonasa Lines IX. Sistem berbasis PLC ini mampu mengendalikan 3 unit motor *shaker* secara otomatis dan sekuensial dengan tingkat kesesuaian eksekusi logika sebesar 100% pada seluruh skenario pengujian. Parameter pewaktuan durasi kerja (*T set* = 30 detik) dan waktu tunda (*delay* = 30 detik) terealisasi secara presisi, di mana interval *delay* yang dirancang terbukti efektif memberikan margin waktu aman terhadap fenomena *freewheeling* motor (maksimal 5,01 detik) guna mencegah terjadinya lonjakan arus mula (*inrush current*) pada jaringan listrik kapal. Selain itu, penerapan *smart relay* berhasil menyederhanakan arsitektur panel dengan mengeliminasi trafo kontrol dan *timer* analog mekanis. Hal ini menjadikan tata letak *wiring* panel lebih ringkas, memperluas ruang panel, mempermudah proses *troubleshooting*, serta meminimalkan risiko kerusakan akibat korsleting kelistrikan guna mendukung kelancaran operasional bongkar muat semen di atas kapal.

Referensi

- [1] K. C. Yao, C. L. Lin, and C. H. Pan, "Industrial Sustainable Development: The Development Trend of Programmable Logic Controller Technology," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 14, Jul. 2024, doi: 10.3390/su16146230.
- [2] M. Budiyanto and K. Prisdia Oetari Sihombing, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER ZELIO SOFT2 PADA PROSES OTOMASI INDUSTRI PENGEMPAKAN," *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, vol. 1, no. 1, pp. 63–67, Jan. 2023, doi: 10.21063/jtv.2023.1.1.63-67.
- [3] M. Masri, H. Alam, and Z. Pelawi, "An Enhanced Smart Conveyor of Sequential System Zelio Smart Relay," *International Journal of Research and Review*, vol. 11, no. 9, pp. 196–206, Sep. 2024, doi: 10.52403/ijrr.20240922.
- [4] M. A. Sehr et al., "Programmable Logic Controllers in the Context of Industry 4.0," *IEEE Trans. Industr. Inform.*, vol. 17, no. 5, pp. 3523–3533, May 2021, doi: 10.1109/TII.2020.3007764.
- [5] Tarun Debnath, Md. Imran Nazir, Pallab Kanti Podder, and Sohag Sarker, "Design and implementation of a novel dust collector controller for powder production industry," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 18, no. 3, pp. 1323–1331, Jun. 2023, doi: 10.30574/wjarr.2023.18.3.1247.
- [6] F. T. Nugraha, R. S. Widjaja, Y. A. Hermawan, T. Yulianto, and S. Rejeki, "Design of an Automated Dust Collector for Sandblasting Machine to Support the Implementation of a Green Shipyard," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2025. doi: 10.1088/1755-1315/1473/1/012070.
- [7] P. Beaulac, M. Issa, A. Ilinca, and J. Brousseau, "Parameters Affecting Dust Collector Efficiency for Pneumatic Conveying: A Review," Feb. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/en15030916.
- [8] T. M. Peters, R. A. Sawvel, J. H. Park, and T. R. Anthony, "Evaluation of a Shaker Dust Collector for Use in a Recirculating Ventilation System," *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 12, no. 9, pp. D201–D210, Sep. 2015, doi: 10.1080/15459624.2015.1043056.
- [9] "The Design and Research of Electric Automation Control System Based on PLC," *International Journal of Frontiers in Sociology*, vol. 3, no. 11, 2021, doi: 10.25236/ijfs.2021.031109.
- [10] "Optimization and Innovation of Industrial Control Systems Based on PLC," *Advances in Computer, Signals and Systems*, vol. 8, no. 4, 2024, doi: 10.23977/acss.2024.080403.
- [11] "Design and implementation of industrial automation control system based on PLC," *Journal of Electronics and Information Science*, vol. 9, no. 2, 2024, doi: 10.23977/jeis.2024.090215.