E-ISSN : 2988-1986
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 9 No 10 Tahun 2025

Analisa Pengaturan Kecepatan Pompa Untuk *Dosing Liquid* di PT Unilever Indonesia

Andrea Yuan Aria Kusuma[1], Gatut Budiono[2], Reza Sarwo Widagdo[3], Puji Slamet[4]

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Corresponding author: andreayuan.ak@gmail.com

ABSTRACT

The dosing system plays a crucial role in ensuring the accuracy and efficiency of liquid material filling in the manufacturing process. At PT Unilever Indonesia Tbk, a three-phase induction motor is used to drive the dosing pump that supplies liquid into the Premix Tank. This process is controlled through an automation system based on the Siemens S7-400 PLC and PCS7 platform, with real-time weight measurement using a load cell connected to a Siwarex module. The motor speed is regulated by a Variable Speed Drive (VSD) based on analog signals from the PLC. This study analyzes the implementation of the PID control method to regulate the speed of the dosing pump motor. The PID parameters are determined using a trial-and-error approach to achieve optimal system performance. The test results show that the parameter combination of P = 0.5 and I = 0.7 with D = 0 produces an overshoot of 2.5% and a steady-state error of 0. This implementation has been proven to improve the dosing process accuracy and reduce overdosing by up to 30% compared to the previous system. Therefore, the application of a PID controller in motor speed control provides a significant improvement in accuracy, stability, and efficiency of the liquid dosing system in an automated manufacturing environment.

Keywords: *Dosing, Manufacture, Induction Motor, PCS7, PLC, PID, VSD*

ABSTRAK

Sistem dosing memiliki peran penting dalam menjamin akurasi dan efisiensi pengisian material cair pada proses manufaktur. Di PT Unilever Indonesia Tbk, motor induksi tiga fasa digunakan untuk menggerakkan pompa dosing yang memasok cairan ke dalam *Premix Tank*. Proses ini dikendalikan melalui sistem otomasi berbasis PLC Siemens S7-400 dan platform PCS7, dengan pembacaan berat *real-time* menggunakan *load cell* yang dihubungkan ke modul Siwarex. Kecepatan motor diatur oleh *Variable Speed Drive* (VSD) berdasarkan sinyal analog dari PLC. Penelitian ini menganalisis penerapan metode kontrol PID untuk mengatur kecepatan motor pompa dosing. Parameter PID ditentukan melalui pendekatan trial and error untuk mencapai performa sistem optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi parameter P = 0,5 dan I = 0,7 dengan D = 0 mampu menghasilkan overshoot sebesar 2,5% dan *error steady-state* sebesar 0. Implementasi ini terbukti mampu meningkatkan akurasi proses dosing serta menurunkan tingkat overdosing hingga 30% dibanding sistem sebelumnya. Dengan demikian, penerapan PID *controller* dalam pengaturan kecepatan motor memberikan peningkatan signifikan dalam akurasi, stabilitas, dan efisiensi sistem dosing cair di lingkungan manufaktur otomatis.

Kata Kunci: Dosing, Manufaktur, Motor Induksi, PCS7, PLC, PID, VSD

Article History
Received: Juli 2025
Reviewed: Juli 2025
Published: Juli 2025

Plagiarism Checker No 235
Prefix DOI : 10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri modern, khususnya pada sektor Fast-Moving Consumer Goods (FMCG), fleksibilitas operasional serta ketepatan proses produksi menjadi faktor utama dalam menjaga efisiensi dan konsistensi mutu produk. Salah satu perusahaan FMCG ternama di Indonesia, PT Unilever Indonesia Tbk, menerapkan proses produksi berulang dalam skala besar yang sangat menuntut presisi, termasuk dalam sistem pengisian bahan cair (dosing). Sistem dosing liquid memiliki peran krusial dalam memastikan volume material cair yang ditransfer ke dalam tangki premix sesuai dengan formulasi produksi. Sebelumnya, pompa dosing pada sistem ini digerakkan oleh motor fixed speed, yang bekerja tanpa pengaturan kecepatan yang adaptif. Akibatnya, sering terjadi overdosing (pengisian melebihi target) yang berdampak pada inefisiensi bahan baku dan kualitas produk akhir.

Sebagai solusi, perusahaan menerapkan sistem pengendalian kecepatan berbasis *Variable Speed Drive* (*VSD*) yang dikendalikan oleh *Programmable Logic Controller* (*PLC*) Siemens S7-400 dengan algoritma *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Sistem ini bekerja secara otomatis dengan membaca sinyal berat dari sensor *load cell*, kemudian mengatur kecepatan motor pompa secara *real-time* untuk menghentikan dosing saat target berat tercapai. Pendekatan ini mampu meningkatkan akurasi pengisian sekaligus mengurangi kasus overdosing secara signifikan. Penerapan kombinasi teknologi PLC dan VSD untuk pengendalian motor bukanlah hal baru. Berbagai studi telah menunjukkan bahwa penggunaan PID controller dalam sistem closed-loop mampu meningkatkan efisiensi dan stabilitas pengoperasian motor listrik.

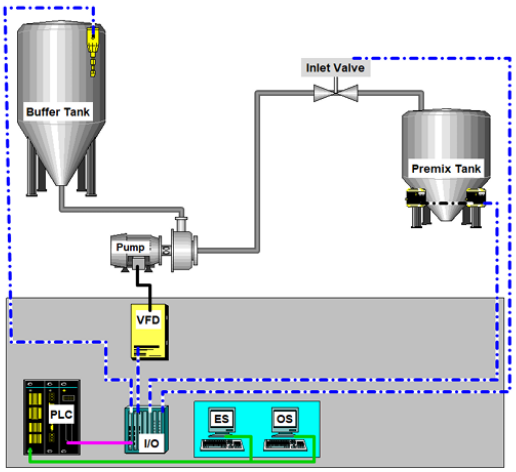
Sebagai contoh, penelitian oleh [1] membuktikan bahwa kontrol PID dalam sistem VFD dapat meningkatkan efisiensi hingga 64,36%, dibandingkan konfigurasi open-loop yang hanya mencapai 7,56%. Selain itu, studi literatur juga mengungkap berbagai teknik tuning PID, baik metode klasik seperti Ziegler–Nichols dan CHR [2], maupun metode optimasi berbasis kecerdasan buatan seperti PSO [3], FA [4], dan ANFIS [5]. Salah satu studi relevan oleh [6] merancang sistem pengaturan kecepatan motor berbasis VSD yang dikontrol oleh PLC dan sensor berat, mirip dengan pendekatan yang digunakan di PT Unilever Indonesia. Penelitian ini membuktikan bahwa sistem semacam ini mampu memberikan peningkatan efisiensi dan presisi pengisian pada proses produksi.

Dengan mempertimbangkan kajian literatur dan kebutuhan industri yang nyata, penelitian ini difokuskan pada implementasi sistem kontrol PID dalam pengaturan kecepatan motor pompa dosing berbasis VSD dan PLC, dengan studi kasus di PT Unilever Indonesia Tbk. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengatasi permasalahan overdosing, serta memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem kendali presisi tinggi di industri manufaktur.

METODE PENELITIAN

1) Desain dan Konfigurasi Sistem

Perancangan sistem ini bertujuan mengatasi masalah over-dosing pada proses dosing liquid di PT Unilever Indonesia dengan menciptakan sistem kontrol yang presisi dan efisien. Perancangan melibatkan integrasi antara perangkat keras seperti PLC Siemens S7-400, VSD, sensor berat (*load cell*), katup (*valve*) otomatis, serta perangkat lunak SCADA PCS7 untuk memastikan proses berjalan otomatis dan terkendali .

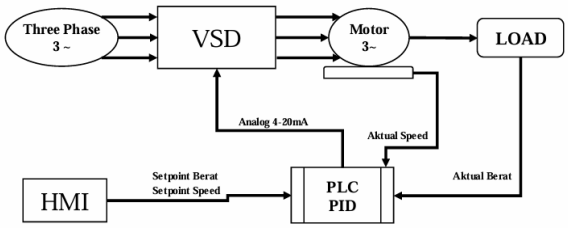


Gambar 1 Desain Konfigurasi Sistem.

Diagram sistem pada Gambar 1 menggambarkan alur dari input setpoint, proses dosing dengan kendali PID, pembacaan berat aktual, hingga penghentian pompa saat berat tercapai. Komponen utama sistem antara lain:

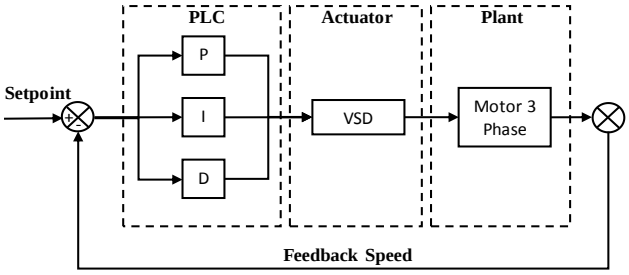
1. Buffer Tank. Penyimpanan awal dengan sensor level.
2. Pump & VSD. Mengatur kecepatan aliran cairan secara presisi.
3. Inlet Valve. Mengatur buka/tutup aliran cairan ke Premix Tank.
4. Premix Tank. Tempat penerimaan material, dilengkapi dengan load cell.
5. Sistem Kontrol (PLC, I/O, SCADA PCS7). Mengatur dan memantau keseluruhan proses secara otomatis dan real-time.

Lalu digambarkan diagram blok untuk memahami konsep dari sistem yang digagas, ditampilkan pada Gambar 2. Dimana terdapat beberapa komponen yang bekerja pada sistem.



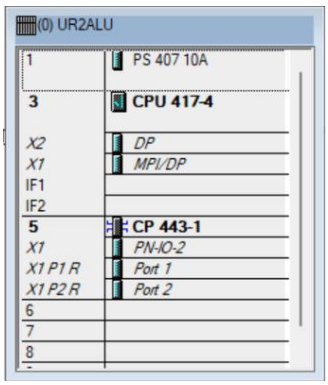
Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Blok diagram di atas menunjukkan sistem kontrol otomatis pengisian cairan yang dirancang untuk mencapai target berat secara presisi. Sistem ini diawali dengan sumber listrik tiga fasa yang mengalir ke *Variable Speed Drive* (VSD) untuk mengatur kecepatan motor AC tiga fasa yang menggerakkan pompa. Pompa tersebut bertugas mengalirkan cairan menuju beban (LOAD), yaitu tangki atau wadah penimbangan. Kecepatan motor dikontrol oleh VSD berdasarkan sinyal analog (4–20 mA) yang dikirim dari PLC, di mana PLC ini dilengkapi dengan kontrol PID dan berfungsi sebagai control utama pada sistem ini. Untuk mencerminkan kondisi aktual proses di lapangan dan digunakan sebagai umpan balik dalam sistem pengendalian tertutup (closed-loop) seperti ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Sistem Kontrol Proporsional Integral Derivatif (PID)

PLC menerima input berupa setpoint berat dan setpoint kecepatan dari Human Machine Interface (HMI), serta feedback aktual dari sensor kecepatan motor dan sensor berat di tangki. Berdasarkan perbandingan antara nilai aktual dan setpoint, kontrol PID akan menyesuaikan sinyal keluarannya ke VSD agar motor dapat beroperasi pada kecepatan optimal untuk mencapai target berat dengan akurasi tinggi. Sistem ini dirancang untuk mendukung efisiensi proses produksi dalam industri FMCG, khususnya pada lini pengisian cairan yang memerlukan ketepatan dan kecepatan dalam pengemasan produk. Konfigurasi dari PLC ditampilkan Pada Gambar 4.



Gambar 4 Konfigurasi PLC S7-400 pada Simatic Manager

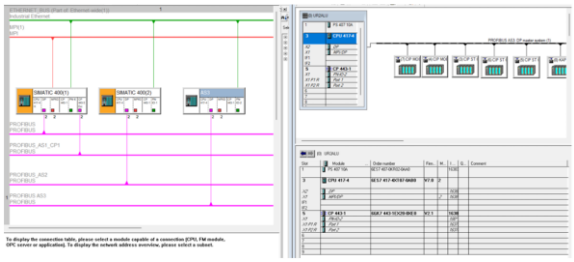
Keterbaruan dari sistem existing adalah pada penelitian ini ditambahkan modul analog input dan analog output pada PLC dan ditambahkan konfigurasi PID untuk control kecepatan motor. Setelah perancangan, dilakukan konfigurasi dari hardware-hardware yang digunakan. Pada tahap konfigurasi sistem, perangkat keras dan perangkat lunak dikonfigurasi menggunakan Simatic Manager untuk memastikan integrasi optimal antara komponen dalam sistem kontrol. PLC Siemens S7-400 dikonfigurasi sebagai unit kendali utama yang terdiri dari Power Supply PS 407-10A, CPU 417-4 sebagai otak sistem otomasi, dan modul komunikasi CP 443-1 untuk konektivitas Ethernet. Untuk akuisisi data dari lapangan, digunakan sistem remote I/O ET200M yang terhubung dengan PLC melalui PROFIBUS DP, dilengkapi dengan modul-modul seperti IM 153-1 (interface), DI 32xDC 24V (input digital), DO 32xDC 24V/0.5A (output digital), AO 8x12Bit (output analog), dan AI 8x12Bit (input analog). Konfigurasi ini mendukung komunikasi efisien dan fleksibel antara sensor, aktuator, dan kontroler.

(10) SODIUM

Slot	Module	Order Number	I Address	Q Address
1				
2	*IM 153-1*	*6ES7 153-1AA03-0XB0*	*16386**	
3				
4	DI32xDC24V	6ES7 321-1BL00-0AA0	101...104	
5	DO32xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BL00-0AA0		56...59
6	AO8x12Bit	6ES7 332-5HF00-0AB0		512...527
7	AI8x12Bit	6ES7 331-7KF02-0AB0	560...575	
8				
9				
10				

Gambar 5 Konfigurasi Modul I/O ET200M pada Simatic Manager

Setelah konfigurasi perangkat keras selesai, tahap selanjutnya adalah pengaturan objek peralatan dalam sistem kontrol Simatic PCS7. Struktur proyek dibuat modular dan terorganisir, dengan folder utama *OralCare_MP* mencakup sub-folder seperti *OralCare_OS* untuk HMI dan *OralCare_Prj* untuk kontrol utama. Unit proses seperti CIP, Fryma_1-9, dan Liquids diatur dalam sub-folder terpisah. Perangkat diberi nama berdasarkan fungsinya, seperti AM untuk aktuator, AV untuk valve, LT untuk level transmitter, PX untuk level switch, dan DOSE_SODIUM untuk kontrol dosing. Komunikasi antar perangkat menggunakan protokol PROFIBUS untuk memastikan data berjalan real-time. Konfigurasi Variable Speed Drive (VSD) dilakukan dengan mengatur parameter kecepatan motor dan mengkalibrasi sinyal analog 4-20 mA agar kontrol kecepatan presisi dan sesuai kebutuhan proses. Adapun jalur komunikasi Profibus ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Jalur Komunikasi Profibus

2) Pemrograman Sistem Dosing Liquid dan HMI

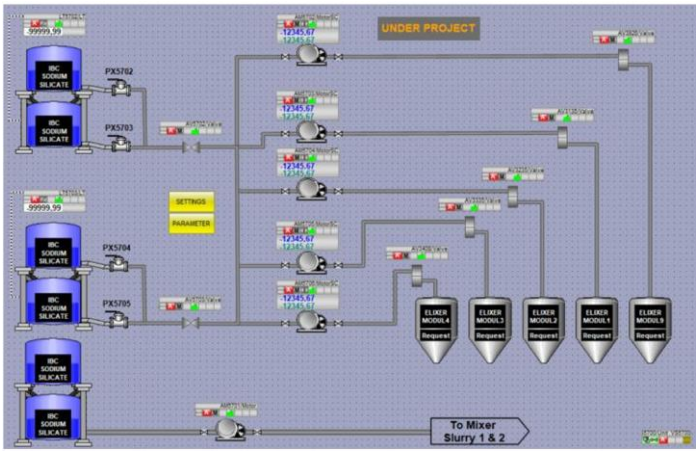
Langkah selanjutnya setelah konfigurasi perangkat keras adalah pemrograman sistem dosing liquid, yang bertujuan untuk mengotomatisasi proses transfer material cair dari Buffer Tank ke Premix Tank. Pemrograman ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Sequential Function Chart (SFC)* dan *Continuous Function Chart (CFC)* yang disediakan oleh Siemens PCS7, sehingga setiap tahapan proses berjalan secara berurutan, presisi, dan sesuai parameter yang ditentukan. Koneksi chart CFC ditampilkan pada Gambar 7.

Gambar 7 Koneksi Chart CFC

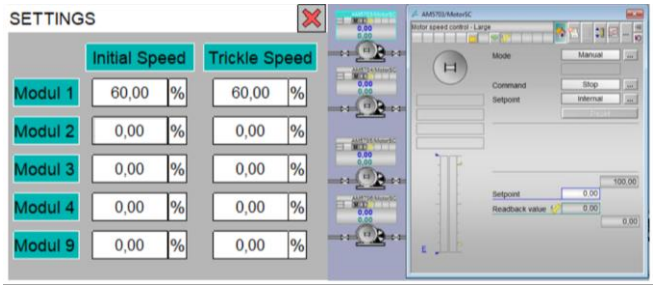
Dalam SFC yang ditampilkan pada gambar 8, urutan logika dimulai dari langkah inisialisasi seperti Reset SOD, dilanjutkan dengan aktivasi mode otomatis (Auto SOD), pengaturan nilai target (Setpoint SOD), eksekusi kontrol PID saat Start Dosing, pembukaan valve (Open Valve SOD), pengaktifan permintaan dosing (Req SOD), transisi saat berat tercapai (Finish), hingga penutupan valve (Close Valve SOD). Setiap langkah diatur dengan kondisi transisi tertentu agar sistem dapat beroperasi otomatis tanpa campur tangan manual yang berlebih [7].

Gambar 8 Program SFC Step Dosing

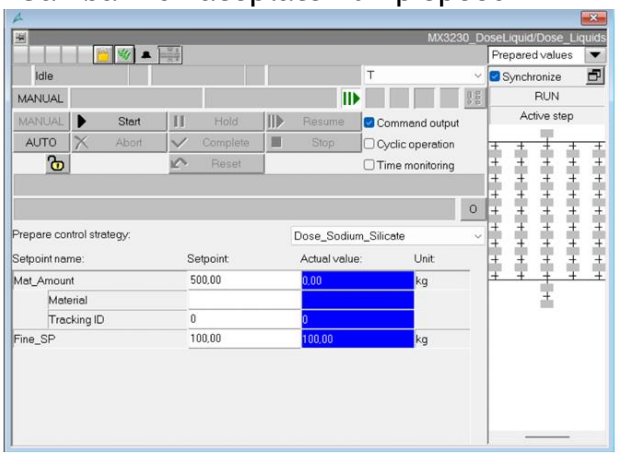
Setelah pemrograman PLC selesai, tahap berikutnya adalah pengembangan HMI menggunakan WinCC di Siemens PCS7. Melalui SCADA, operator dapat memantau status proses, mengatur parameter, dan melakukan intervensi jika diperlukan. Desain tampilan sistem dilakukan melalui Graphics Designer pada Gambar 9, 10 & 11, di mana representasi visual seperti Buffer Tank, Premix Tank, pompa, VSD, dan valve ditampilkan lengkap dengan animasi status seperti warna, simbol, dan indikator level cairan.



Gambar 9 Tampilan HMI pada Sistem



Gambar 10 Faceplate Pump Speed



Gambar 11 Faceplate System Dosing

3) Tuning & Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dosing yang dirancang mampu mengatasi permasalahan over-dosing dan bekerja sesuai dengan tujuan yang ditetapkan. Pengujian ini difokuskan pada dua parameter utama, yaitu akurasi dan stabilitas control [8]. Untuk menguji akurasi, dilakukan pengukuran terhadap selisih antara volume material cair yang diisikan ke dalam tangki dengan nilai target setpoint yang telah ditentukan sebelumnya. Selain itu, diuji pula kemampuan sistem dalam mempertahankan tingkat akurasi pada kondisi beban variabel, terutama saat terjadi perubahan kecepatan kontrol (Control Speed) [9]. Sementara itu, stabilitas kontrol diuji dengan mengevaluasi respons sistem terhadap gangguan yang diberikan, seperti perubahan mendadak pada proses atau sinyal kendali. Pengamatan juga dilakukan terhadap kestabilan kecepatan motor, khususnya ketika nilai setpoint diubah secara real-time. Melalui serangkaian pengujian ini, dapat dinilai apakah sistem telah mampu bekerja secara presisi, responsif, dan andal dalam proses dosing material cair.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Hasil Tuning dengan Pendekatan *Trial & Error*

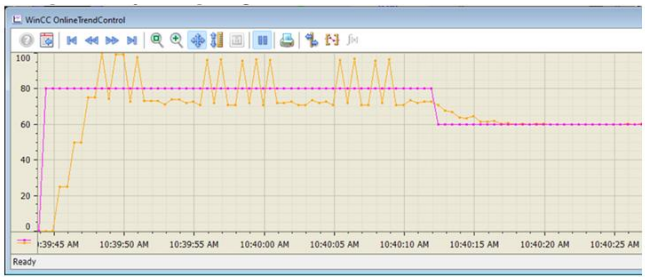
Pengujian dilakukan terhadap 15 kombinasi parameter PID (Proportional, Integral, Derivative) untuk mengidentifikasi konfigurasi yang memberikan kinerja sistem terbaik dalam aspek kecepatan respon, kestabilan, dan akurasi, parameter PID dalam setiap percobaan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter PID dalam 15 Percobaan

NO	KP	TI	TD	OVERSHOOT (%)		SETTLING TIME(S)		STEADY-STATE ERROR		SETPOIN WEIGHT	ACTUAL WEIGHT	OVER DOSING
				SP=80	SP=60	SP=80	SP=60	SP=80	SP=60			
1	0.5	0.5	1.0	25	16.6	-	5	-	0	150kg	155kg	5kg
2	0.5	0.7	0.8	22.5	30	-	-	-	-	150kg	156kg	6kg
3	0.5	1.0	0.6	20	20	-	10.5	-	-	150kg	155kg	5kg
4	0.6	1.0	0.4	22.5	22.5	-	-	-	-	150kg	158kg	8kg
5	0.7	1.0	0.3	22.5	22.5	-	-	-	-	150kg	157kg	7kg
6	0.8	1.0	0.2	25	25	-	-	-	-	150kg	157kg	7kg
7	0.8	0.8	0.1	25	25	-	-	-	-	150kg	156kg	6kg
8	0.8	0.8	0.05	17.5	25	-	-	-	-	150kg	155kg	5kg
9	0.8	0.8	0.01	12.5	25	-	-	-	-	150kg	157kg	7kg
10	0.7	0.9	0	15	18.3	10	7	0	0	150kg	155kg	5kg
11	0.6	1.0	0	18.7	13.3	12	8	0	0	150kg	155kg	5kg
12	0.5	1.0	0	6.25	6.25	12	9.5	0	0	150kg	155kg	5kg
13	0.5	0.7	0	2.5	8.3	8	6	0	0	150kg	156kg	6kg
14	0.5	0.5	0	21.25	21.25	7	4	0	0	150kg	155kg	5kg
15	0.4	0.4	0	25	25	7	3	0	0	150kg	155kg	5kg

Setiap kombinasi diuji dan dianalisis secara sistematis, dengan menampilkan grafik respon sistem dan dilengkapi analisis kuantitatif terhadap nilai overshoot, settling time, dan steady-state error (SSE) . Nilai setpoint (SP) awal dalam seluruh pengujian ditetapkan sebesar 80 sebagai acuan utama dalam sistem kontrol. Selanjutnya nilai SP diturunkan menjadi 60 untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam merespons penurunan beban secara moderat. Penurunan ini dimaksudkan sebagai penyesuaian untuk menjaga akurasi dan ketepatan proses dosing. Hasil dari setiap pengujian ini menjadi dasar dalam menentukan parameter PID yang optimal untuk diterapkan dalam sistem.

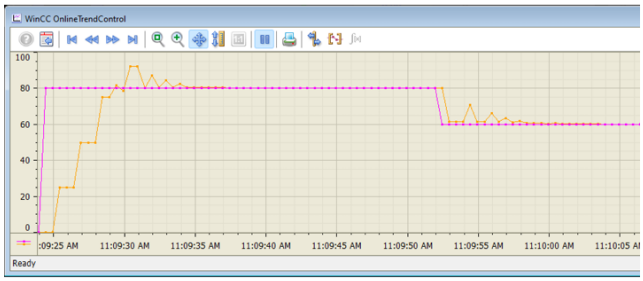
Pengujian ke-1, 10, 13, dan 15 menunjukkan perbedaan respons sistem. Pada pengujian dengan parameter P = 0.5, I = 0.5, dan D = 1, sistem menjadi tidak stabil karena nilai D terlalu tinggi, menyebabkan osilasi besar di sekitar setpoint. PV mencapai 100, yang berarti terjadi overshoot 25%. Sistem gagal mencapai kondisi tunak pada setpoint awal (SP = 80), tetapi berhasil stabil pada SP = 60 dengan waktu settling sekitar 5 detik dan error nol, seperti ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Percobaan Ke-1

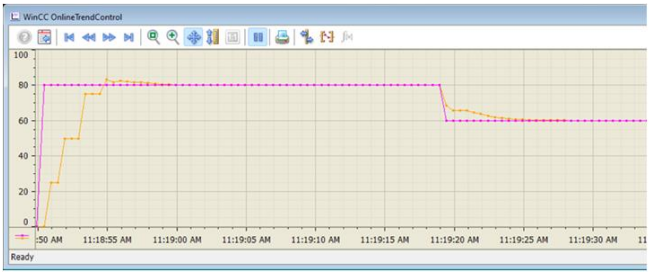
Pada pengujian kesepuluh, sistem tuning mulai menghilangkan nilai konstanta derivatif (Kd) dengan menggunakan parameter P = 0.7, I = 0.9, dan D = 0. Hasilnya, sistem mulai menunjukkan perilaku yang lebih stabil. Overshoot yang terjadi pun mulai mengecil dan hanya muncul di awal respon, yaitu sebesar 15% pada setpoint awal SP = 80 dan 18,3% pada SP = 60. Sistem berhasil mencapai kondisi tunak dengan waktu settling time selama 10 detik pada setpoint awal dan 7 detik setelah setpoint diturunkan, yang menunjukkan peningkatan

performa sistem dalam merespons perubahan beban.



Gambar 13 Percobaan Ke-10

Pengujian ketigabelas menunjukkan hasil terbaik dibandingkan dengan pengujian-pengujian sebelumnya. Pada konfigurasi parameter PID dengan P = 0.5, I = 0.7, dan D = 0, sistem menunjukkan performa yang sangat baik. Berdasarkan grafik pada Gambar 14, overshoot hanya sebesar 2,5% saat setpoint berada di 80 dan 8,3% setelah setpoint diturunkan ke 60. Selain itu, waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi tunak (settling time) juga lebih singkat dibandingkan pengujian sebelumnya, yakni 8 detik untuk setpoint awal dan 6 detik setelah perubahan setpoint. Grafik juga menunjukkan bahwa steady-state error (SSE) berada di angka 0, menandakan bahwa sistem mampu mencapai dan mempertahankan nilai setpoint dengan akurat dan stabil.



Gambar 14 Percobaan Ke-13

2) Simulasi Performa Sistem dengan Parameter Optimal

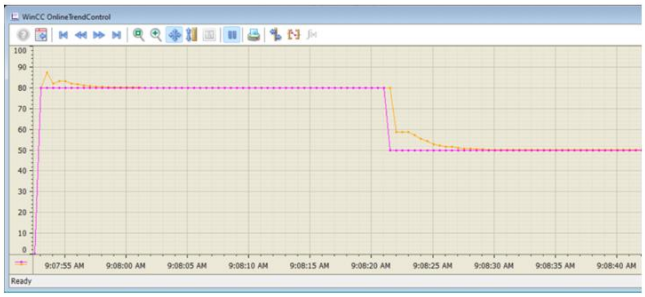
Berdasarkan hasil analisis dari lima belas pengujian awal, konfigurasi parameter PID dengan nilai P = 0.5, I = 0.7, dan D = 0 dinyatakan sebagai yang paling optimal. Konfigurasi ini mampu menghasilkan respons sistem yang cepat, stabil, serta memiliki nilai overshoot dan steady-state error (SSE) yang rendah. Namun, pada implementasinya, sistem masih menunjukkan kecenderungan overdosing, terutama saat terjadi perubahan setpoint dari 80 ke 60. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun parameter tersebut telah optimal secara teori dan hasil grafik, penyesuaian lebih lanjut terhadap nilai setpoint tetap diperlukan untuk menghindari kelebihan dosis cairan dalam aplikasi nyata.

Sebagai langkah validasi terhadap performa parameter tersebut, dilakukan tiga pengujian tambahan dengan tetap menggunakan konfigurasi PID yang sama (P = 0.5, I = 0.7, D = 0), namun dengan penyesuaian nilai trickle setpoint menjadi lebih rendah, yakni dari 60 diturunkan berturut-turut menjadi 50, 40, dan 30. Tujuan dari pengujian lanjutan ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh penurunan nilai trickle setpoint terhadap kestabilan sistem, waktu penyelesaian, serta efektivitasnya dalam mencegah overdosing selama proses berlangsung.

Tabel 2 Hasil Pengujian Overdosing

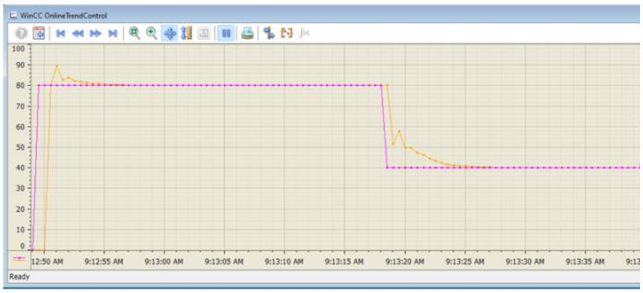
NO	KP	KI	KD	SETPOINT INITIAL SPEED	SETPOINT TRICKLE SPEED	OVERSHOOT (%)		SETTLING TIME(S)		STEADY-STATE ERROR		SETPOIN WEIGHT	ACTUAL WEIGHT	OVER DOSING
1	0.5	0.7	0	80	50	10	16	4	5	0	0	150kg	154kg	4kg
2	0.5	0.7	0	80	40	11.2	42.5	4	5.5	0	0	150kg	152kg	2kg
3	0.5	0.7	0	80	30	2.5	66	4	5	0	0	150kg	150kg	0kg

Pengujian pertama menunjukkan performa sistem yang cukup baik. Berdasarkan grafik pada Gambar 16, terjadi overshoot sebesar 10% pada setpoint (SP) awal 80, dan meningkat menjadi 16% setelah SP diturunkan ke 50. Meskipun terdapat overshoot, sistem mampu mencapai kondisi tunak dengan settling time sebesar 4 detik pada SP awal dan 5 detik setelah perubahan SP. Nilai steady-state error (SSE) sebesar 0 menandakan bahwa process variable (PV) berhasil mengikuti SP dengan akurat. Dari sisi proses dosing, overdosing menurun menjadi 4 kg, yang merupakan peningkatan signifikan dibandingkan pengujian sebelumnya.



Gambar 16 Pengujian Pertama

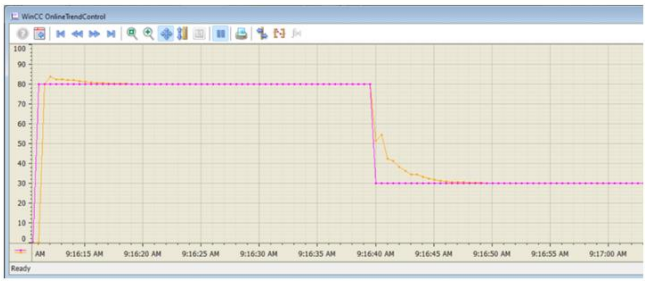
Pengujian kedua dilakukan dengan menurunkan SP lebih lanjut ke angka 40 untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap akurasi dosing. Grafik pada Gambar 16 menunjukkan overshoot sebesar 11.2% pada SP awal dan meningkat cukup tajam menjadi 42.5% setelah SP berubah ke 40. Meskipun overshoot bertambah besar, sistem tetap menunjukkan kestabilan dengan settling time 4 detik pada SP awal dan 5.5 detik setelah perubahan. Nilai SSE tetap nol, menunjukkan akurasi sistem tetap terjaga. Proses dosing juga mengalami peningkatan, dengan overdosing berkurang menjadi hanya 2 kg, menunjukkan peningkatan signifikan terhadap akurasi pengisian material.



Gambar 17 Pengujian Kedua

Pengujian ketiga menghasilkan performa sistem paling optimal dalam keseluruhan pengujian aplikasi dosing. Berdasarkan gambar 18, tercatat overshoot sebesar 2.5% pada SP 80, namun meningkat hingga 66% setelah SP diturunkan ke 30. Meski terjadi lonjakan

overshoot, sistem tetap mencapai kestabilan dengan settling time 4 detik pada SP awal dan 5 detik setelah perubahan. SSE tetap nol, dan hasil akhir menunjukkan tidak terjadi overdosing (0 kg), dengan hasil actual dosing mencapai 150 kg, sesuai target SP. Penurunan trickle setpoint ke 30 menyebabkan kecepatan pompa menjadi lebih rendah, sehingga waktu pengisian menjadi lebih lama, tetapi akurasi sistem meningkat secara signifikan.



Gambar 18 Pengujian Ketiga

Berdasarkan 15 pengujian utama dan 3 pengujian tambahan, sistem kontrol PID menunjukkan bahwa konfigurasi PI (P = 0.5, I = 0.7, D = 0) memberikan performa terbaik dengan respons cepat, stabil, dan akurat tanpa overshoot dan SSE yang signifikan. Penggunaan nilai D justru menyebabkan osilasi dan waktu stabilisasi yang lama. Pengujian tambahan membuktikan bahwa menurunkan setpoint trickle (dari 60 ke 30) secara efektif mengurangi overdosing hingga nol, meskipun berdampak pada waktu proses yang lebih lama. Hal ini menunjukkan bahwa penyesuaian setpoint lebih efektif daripada perubahan parameter PID dalam meningkatkan akurasi dosing, serta mengungkap trade-off antara kecepatan proses dan ketepatan hasil yang penting diperhatikan dalam implementasi industri.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi sistem kontrol kecepatan motor berbasis VSD dan PLC secara terintegrasi berhasil mengatasi masalah overdosing dalam proses pengisian material cair, dengan pengaturan kecepatan pompa yang dikendalikan otomatis berdasarkan pembacaan load cell. Penggunaan kontrol PID dengan parameter P = 0.5, I = 0.7, D = 0 memberikan performa optimal dengan respons cepat, overshoot rendah, dan error nol. Disarankan agar konfigurasi PID dan metode penyesuaian setpoint trickle digunakan sebagai referensi pada sistem sejenis, serta dilengkapi fitur pencatatan data otomatis guna mendukung evaluasi proses. Pengembangan lebih lanjut dapat mengarah pada kontrol lanjutan seperti Model Predictive Control (MPC) agar sistem tetap adaptif terhadap kompleksitas dan dinamika kebutuhan proses industri, khususnya sektor manufaktur FMCG

DAFTAR PUSTAKA

[1] I. Dartanti, “Desain Variable Frekuensi Drive untuk Meningkatkan Efisiensi Kompresor Motor dengan Metode PID PT Inka Multi Solusi”, 2023, [Online]. Available: http://repository.untag-sby.ac.id/26898/

[2] Widagdo, R. S., Hariadi, B., & Setyadjit, K. (2023). Modelling and Analysis of Ziegler-Nichols and Chien-Hrones Reswick Tuning PID on DC Motor Speed Control. Jurnal Teknologi Elektro, 14(1), 23-27.

[3] Wang, Y., & Liu, Z. (2021). Development of numerical modeling and temperature controller optimization for internal heating vacuum furnace. Ieee Access, 9, 126765-126773.

[4] Ali, H., El, J., Feki, E., & Mami, A. (2020). Tuning PID using particle swarm optimization for controlling temperature of the infant incubator. International Journal of Computer Science and Network Security, 20(3), 174-182

[5] M. Ali, H. Nurohmah, D. Ajiatmo, & M. A. Haikal. (2020). Hybrid Design Optimization of Heating Furnace Temperature using ANFISPSO. Journal FORTEI-JEERI, 1(2), 35-42.

[6] A. M. A. Goffar, "Rancang Bangun Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Dengan Variable Speed Drive Pada Mesin Pengisian Powder Full Sillo Menggunakan Sensor WLC Berbasis PLC", 2024, [Online]. Available: http://repository.untag-sby.ac.id/35091/

[7] C. Knospe, "PID control," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 26, no. 1, pp. 30–31, 2006.

[8] K. Sekarsari and T. Tata, "Performance analysis of PID control in DC Brushless motor using trial and error method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2021, p. 042027.

[9] J. M. S. Ribeiro, M. F. Santos, M. J. Carmo, and M. F. Silva, "Comparison of PID controller tuning methods: analytical/classical techniques versus optimization algorithms," in *2017 18th international Carpathian control conference (ICCC)*, IEEE, 2017, pp. 533–538.