

Rancang Bangun Trainer Pembelajaran Kendali PID (*Proportional Integral Derivative*) Kecepatan Motor DC Berbasis PLC dan HMI

Eriko Arvin Karuniawan^{1*}, Ari Santoso², Aji Hari Riyadi³, Juwarta⁴, Syahid⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang
Email Penulis Korespondensi: ¹eriko@polines.ac.id

Abstrak—Kurangnya pemahaman mendalam mengenai algoritma PID di kalangan siswa dan tenaga pengajar, yang sering mengakibatkan penerapan yang kurang optimal dalam sistem kontrol otomatisasi. Oleh karena itu, pengembangan trainer pembelajaran PID sangat penting untuk menyediakan pemahaman teoritis dan praktik yang lebih baik, sehingga meningkatkan kompetensi dalam kontrol otomatisasi. Penelitian ini mengembangkan modul pembelajaran yang bertujuan untuk membantu mahasiswa atau pelajar dalam mempelajari kendali PID secara lebih efektif. Diharapkan kontribusinya dalam meningkatkan pemahaman dan keterampilan praktis dalam bidang kendali PID dan sistem otomatisasi. Melalui trainer kendali kecepatan motor DC yang dibuat, pengujian dilakukan dengan parameter $K_p=1$, $K_i=0,5$, dan $K_d=0,5$, yang menghasilkan rata-rata overshoot sebesar 21%, waktu penyelesaian 2,106 detik, dan error steady state sebesar 20%. Temuan ini menunjukkan potensi pengembangan alat pengendalian sistem pada skala industri lebih lanjut dan pembuatan trainer untuk konsep-konsep kendali yang lebih kompleks di masa mendatang.

Kata Kunci: Trainer Pembelajaran, Kendali PID, Motor DC, PLC, HMI

Abstract—The main problem is the lack of deep understanding of PID algorithms among students and educators, often resulting in suboptimal implementation in automatic control systems. Therefore, the development of PID learning trainers is crucial to provide better theoretical and practical understanding, thereby enhancing competence in automatic control. This research develops a learning module aimed at assisting students or learners in effectively studying PID control. Its contribution is expected to enhance understanding and practical skills in the field of PID control and automation systems. Through the constructed DC motor speed control trainer, testing was conducted with parameters set at $K_p=1$, $K_i=0.5$, and $K_d=0.5$, yielding an average overshoot of 21%, a settling time of 2.106 seconds, and a steady state error of 20%. These findings indicate the potential for further development of system control tools on an industrial scale and the creation of trainers for more complex control concepts in the future.

Keywords: Learning Trainer, PID Control, DC Motor, PLC, HMI

I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi dalam sistem kendali menjadi aspek penting dalam memperbaiki efisiensi dan kinerja dalam berbagai aplikasi industri. Salah satu teknik yang sering digunakan dalam sistem kendali adalah kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) yang memiliki kemampuan untuk mengatur kecepatan dan posisi dengan baik[1]. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan Trainer Pembelajaran Kendali PID Kecepatan Motor DC berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) dan HMI (*Human-Machine Interface*)[2].

PLC dipilih sebagai otak utama dari sistem kendali ini karena kemampuannya yang telah teruji dalam aplikasi industri. Sementara itu, HMI akan berperan sebagai antarmuka pengguna yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan sistem secara intuitif[3]. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada pengembangan sistem kendali, tetapi juga pada pengalaman pengguna yang optimal.

Pada penelitian-penelitian yang sudah ada, trainer PID dibuat dengan antarmuka perangkat lunak pemrograman sehingga tidak memberikan pengalaman interaksi yang menarik dan mudah dipahami oleh peserta didik[4]. Oleh karena itu pada penelitian ini ditambahkan perangkat HMI agar mempermudah kendali dan antarmuka antara trainer PID dan peserta didik.

Human-Machine Interaction (HMI) menawarkan sejumlah kelebihan yang signifikan. Pertama, efisiensi adalah salah satunya. HMI yang dirancang dengan baik dapat mengoptimalkan interaksi manusia-mesin, mengurangi waktu yang diperlukan untuk mempelajari sistem baru, serta mempercepat proses kerja secara keseluruhan. Kelebihan lainnya adalah dalam hal keselamatan. HMI yang responsif dapat mengurangi risiko kesalahan manusia dan meningkatkan respons sistem terhadap situasi darurat, khususnya dalam konteks kendaraan otonom dan sistem medis. Selanjutnya, pengalaman pengguna yang lebih baik adalah hal yang dapat diperoleh dari HMI yang baik. Dengan menyediakan antarmuka yang intuitif dan mudah digunakan, HMI mengurangi tingkat frustrasi pengguna dan meningkatkan kepuasan pengguna secara keseluruhan. Selain itu, HMI juga dapat meningkatkan produktivitas dalam berbagai sektor dengan mempercepat proses kerja dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Terakhir, HMI membuka pintu bagi inovasi dalam teknologi dengan memfasilitasi integrasi yang lebih baik antara manusia dan teknologi baru yang muncul, memungkinkan kemajuan dalam berbagai bidang teknologi.

Melalui implementasi trainer pembelajaran ini, diharapkan dapat meningkatkan pemahaman praktis para pembelajar terhadap konsep kontrol PID, serta memfasilitasi proses pembelajaran dan pengembangan

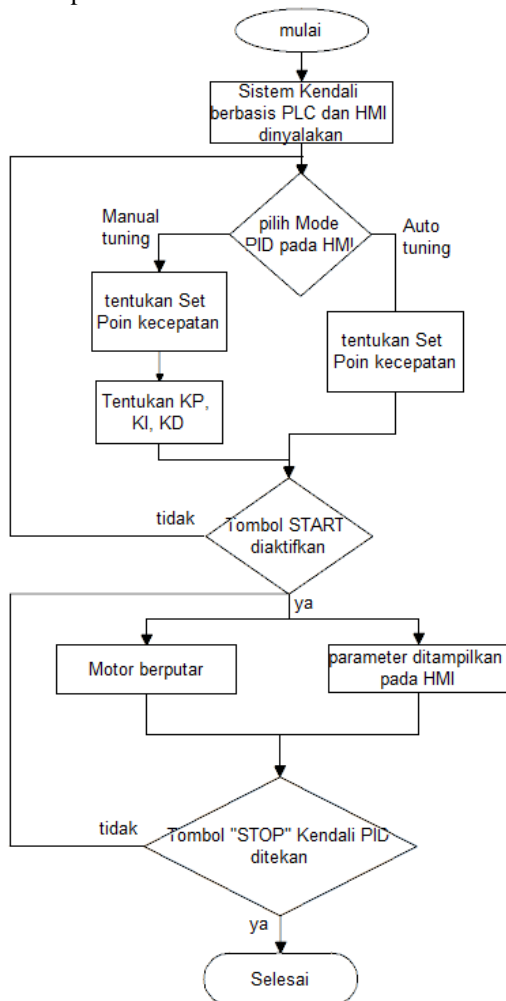
keterampilan teknis dalam bidang kontrol sistem[5]. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam pengembangan pendidikan teknik dan aplikasi industri pada umumnya[6].

II. METODE PENELITIAN

Dari permasalahan dalam pembelajaran PID maka diperlukan trainer pembelajaran PID guna untuk membantu para pembelajaran dapat memahami cara kerja dan pengaplikasian secara langsung maka akan dirancang trainer pembelajaran PID seperti berikut:

A. Perancangan Sistem

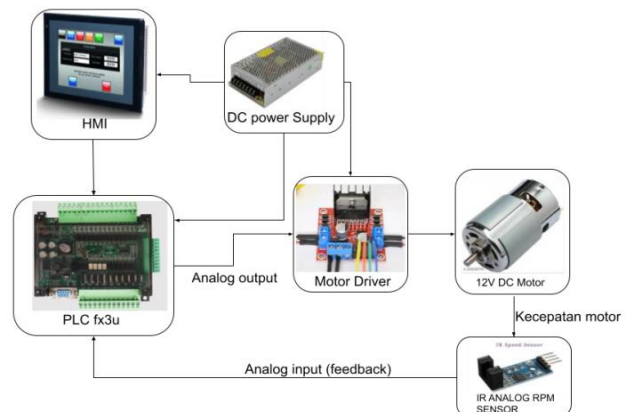
1. Desain Konseptual: Tahap awal melibatkan perumusan konsep dan spesifikasi sistem untuk Trainer Pembelajaran Kendali PID Kecepatan Motor DC berbasis PLC dan HMI. Diagram alir/flowchart dari rancang bangun trainer ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Trainer PID Motor DC

2. Seleksi Komponen: Memilih perangkat keras yang sesuai seperti PLC, motor DC, HMI, sensor, dan komponen pendukung lainnya berdasarkan pada spesifikasi yang telah ditetapkan. Komponen yang

digunakan dalam perancangan trainer ini dapat dilihat pada Tabel 1. Diagram alir dari sistem ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

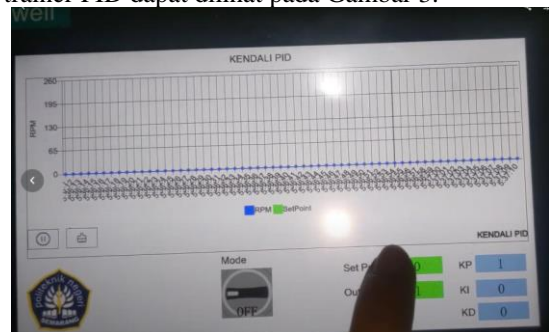


Gambar 2. Diagram Blok Trainer PID Motor DC

Tabel 1. Spesifikasi trainer

Komponen	Spesifikasi
HMI	Haiwell HMI B7H-W[7]
PLC	FX3U[8]
Motor DC	12 Volt
Sensor Kecepatan	IR sensor

3. Perancangan Antarmuka: Merancang antarmuka pengguna (HMI) agar pengguna dapat berinteraksi dengan sistem secara intuitif. Tampilan antarmuka trainer PID dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan antarmuka pada Trainer Kendali PID Motor DC

B. Implementasi Sistem

1. Pemasangan Perangkat Keras: Memasang semua komponen hardware yang telah dipilih secara tepat sesuai dengan desain sistem. Bentuk keseluruhan trainer PID kecepatan Motor DC dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk Trainer PID Motor DC

2. Konfigurasi PLC: Mengatur PLC untuk mengendalikan motor DC sesuai dengan logika PID yang telah ditentukan. Program PLC dibuat menggunakan GX Works 3[9]. PLC digunakan untuk melakukan instruksi PID, dari input kecepatan motor dengan komunikasi Modbus dari Arduino. PLC memiliki output tegangan yang berfungsi untuk mengatur kecepatan motor DC.
3. Pengembangan Antarmuka Pengguna: Membangun antarmuka pengguna menggunakan HMI untuk memungkinkan pengguna memasukkan setpoint dan memonitor kinerja sistem. Tampilan HMI dibuat menggunakan perangkat lunak Haiwell SCADA[10].

C. Pengujian Sistem

1. Pengujian Fungsional: Menguji fungsionalitas keseluruhan sistem untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai dengan harapan.
2. Pengujian Kinerja: Melakukan serangkaian pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengontrol kecepatan motor DC dengan menggunakan berbagai setpoint dan kondisi operasional yang berbeda[11].

D. Analisis Data

1. Pengumpulan Data: Merekam data kinerja sistem seperti respons motor terhadap perubahan setpoint, waktu penyeimbangan, overshoot, dan steady-state error selama pengujian.
2. Pengolahan Data: Memproses data yang terkumpul menggunakan metode statistik dan analisis kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem.

E. Evaluasi dan Interpretasi

1. Evaluasi Hasil: Menganalisis hasil pengujian dan data yang diperoleh untuk mengevaluasi kinerja Trainer Pembelajaran Kendali PID.
2. Interpretasi Temuan: Menginterpretasikan temuan dari analisis data dan menjelaskan implikasinya terhadap efektivitas sistem dalam meningkatkan pemahaman praktis tentang kontrol PID[12].

F. Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan temuan penelitian serta menyajikan kesimpulan mengenai keberhasilan implementasi Trainer Pembelajaran Kendali PID Kecepatan Motor DC berbasis PLC dan HMI.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Respon Motor DC

Evaluasi respons motor terhadap variasi setpoint menjadi tolok ukur utama kesuksesan kendali PID. Grafik respons memperlihatkan peningkatan yang signifikan dalam waktu respon dan overshoot, menunjukkan efektivitas pengaturan PID dalam menyesuaikan kecepatan motor dengan cepat dan stabil. Pengujian dilakukan dengan melakukan kendali PID pada trainer dengan memvariasikan set point, kemudian data respon berupa overshoot, time setting, dan error steady state dicatat.

Pengontrol Proporsional (K_p), Integral (K_i), dan Derivatif (K_d) adalah tiga parameter yang umum digunakan dalam pengaturan PID (Proportional-Integral-Derivative) untuk sistem kontrol. PID adalah metode kontrol umum yang digunakan untuk mengendalikan sistem dinamis.

1. Proporsional (K_p)

Pengaruhnya: Parameter ini mengendalikan sejauh mana respons sistem terhadap kesalahan saat ini. Efek pada kestabilan: Peningkatan nilai K_p dapat meningkatkan respon sistem terhadap kesalahan, tetapi nilai yang terlalu tinggi dapat menyebabkan osilasi atau bahkan kegagalan sistem untuk mencapai kestabilan. Nilai K_p yang rendah mungkin membuat sistem lamban dan kurang responsif terhadap perubahan.

2. Integral (K_i)

Pengaruhnya: Parameter ini mengendalikan penanganan kesalahan kumulatif dari waktu ke waktu. Efek pada kestabilan: Nilai K_i yang terlalu tinggi dapat menyebabkan osilasi atau overshoot yang berlebihan, sementara nilai yang terlalu rendah mungkin menyebabkan sistem sulit untuk mencapai setpoint secara akurat dan mengalami offset yang berkelanjutan.

3. Derivatif (K_d)

Pengaruhnya: Parameter ini mengendalikan sejauh mana pengendalian sistem memperhitungkan tingkat perubahan kesalahan. Efek pada kestabilan: Nilai K_d yang tinggi dapat membantu mencegah overshoot dan osilasi, tetapi nilai yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan sistem menjadi terlalu responsif terhadap gangguan kecil dan menyebabkan jitter. Nilai K_d yang rendah mungkin membuat sistem lebih lamban dalam merespons perubahan.

Kombinasi yang tepat dari K_p , K_i , dan K_d diperlukan untuk mendapatkan kinerja kontrol yang optimal dan stabil. Proses penyetelan parameter PID seringkali melibatkan uji coba dan pengamatan terhadap respons sistem terhadap berbagai kondisi operasional[13].

Pada pengujian digunakan pengaturan parameter $K_p=1$, $K_i=0,5$, $K_d=0,5$. Parameter ini ditentukan dengan metode try and error[14]. Dari hasil pengujian didapatkan hasil tertampil pada Tabel 2.

Tabel 2. Data respon kendali PID kecepatan Motor DC

No	Set Point	Overshoot	Time Settling (detik)	Error Steady State
1	50%	34%	2,33	24%
2	60%	23%	2,35	22%
3	70%	20%	2,23	21%
4	80%	18%	1,84	16%
5	90%	10%	1,78	15%
Rata-rata		21%	2,106	20%

Data yang diberikan adalah hasil pengujian dari lima pengaturan PID yang berbeda, dengan setiap pengaturan diuji menggunakan parameter tertentu seperti set point, overshoot, waktu penyelesaian, dan error steady state. Set point merupakan nilai target yang diatur untuk sistem kontrol, sedangkan overshoot mengukur persentase[15] peningkatan di atas nilai set point sebelum sistem mencapai keadaan stabil. Waktu penyelesaian mencerminkan waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai keadaan stabil setelah mencapai set point, sementara error steady state menunjukkan selisih antara nilai set point dan nilai yang diperoleh saat sistem stabil. Dari rata-rata hasil pengujian, terlihat bahwa pengaturan PID nomor 4 memiliki performa yang relatif baik dengan overshoot sebesar 80%, error steady state sebesar 18%, dan waktu penyelesaian sebesar 1,84 detik. Meskipun demikian, pilihan PID yang optimal dapat bervariasi tergantung pada kebutuhan dan karakteristik khusus dari sistem yang dikendalikan.

IV. KESIMPULAN

Modul pembelajaran yang dikembangkan dapat membantu mahasiswa atau pelajar mempelajari kendali PID secara lebih efektif. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat berkontribusi pada peningkatan pemahaman dan keterampilan praktis dalam bidang kendali PID dan sistem otomatisasi. Dari trainer kendali kecepatan motor DC yang telah dibuat, pada pengujian dengan pengaturan parameter $K_p=1$, $K_i=0,5$, $K_d=0,5$, didapatkan hasil respon rata rata overshoot 21%, settling time 2,106 detik dan error steady state sebesar 20%. Dari penelitian ini dapat dikembangkan berbagai alat pengendalian sistem pada skala industri lebih lanjut. Diharapkan dari penelitian ini juga dapat dikembangkan trainer untuk konsep-konsep kendali yang lebih kompleks lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada P3M Polines yang telah membiayai penelitian ini.

V. REFERENSI

[1] L. Wang, *PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink*. John Wiley & Sons, 2020.

[2] M. D. Surindra, W. P. Widyaningsih, M. Margana, S. Supriyo, dan T. H. Mulud, "SISTEM KONTROL PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) UNTUK MENGATUR KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER," *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Des 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.172.

[3] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*. Newnes, 2015.

[4] R. Maulana dan Almasri, "PERANCANGAN DAN PEMBUATAN TRAINER SISTEM KONTROL BERBASIS PLC SEBAGAI PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN DI SMK-SMTI PADANG," *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 4, Art. no. 4, Feb 2024, doi: 10.572349/scientica.v2i4.1155.

[5] E. Marpanaji, "TRAINER PID CONTROLLER SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PRAKTIK SISTEM KENDALI," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Apr 2017, doi: 10.21831/elinvo.v2i1.16369.

[6] R. Risfendra, Y. M. Putra, H. Setyawan, dan M. Yuhendri, "Development of Outseal PLC-Based HMI as Learning Training Kits for Programmed Control Systems Subject in Vocational Schools," *Proceedings of Vocational Engineering International Conference*, vol. 5, hlm. 506–511, 2023.

[7] "B Series IoT Cloud HMI-PLC | HMI | SCADA | Gateway." Diakses: 1 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: <http://en.haiwell.com/hwproducts/196.html>

[8] "FX3U-CAN USER'S MANUAL".

[9] "GX Works3 Features of the software Programmable Controllers MELSEC." Diakses: 2 Mei 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cn_t/plceng/smerit/gx_works3/index.html

[10] "Haiwell Cloud SCADA Software (V3.38.5.6).zip- 工业物联网|国产 PLC|HMI|SCADA." Diakses: 2 Mei 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://en.haiwell.com/download/361.html>

[11] J. Uniyal, M. Joshi, dan P. K. Juneja, "Set point tracking capability and comparative response of PI-PD controller with PI, PD and PID controller," dalam *2016 International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA) (Spring)*, Apr 2016, hlm. 1–6. doi: 10.1109/ICACCA.2016.7578883.

[12] A. G. Daful, "Comparative study of PID tuning methods for processes with large & small delay times," dalam *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, Feb 2018, hlm. 1–7. doi: 10.1109/ICASET.2018.8376915.



- [13] R. P. Borase, D. K. Maghade, S. Y. Sondkar, dan S. N. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *Int. J. Dynam. Control*, vol. 9, no. 2, hlm. 818–827, Jun 2021, doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.
- [14] O. A. Somefun, K. Akingbade, dan F. Dahunsi, "The dilemma of PID tuning," *Annual Reviews in Control*, vol. 52, hlm. 65–74, Jan 2021, doi: 10.1016/j.arcontrol.2021.05.002.
- [15] F. S. M. Alkhafaji, W. Z. W. Hasan, M. M. Isa, dan N. Sulaiman, "A Novel Method for Tuning PID Controller," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, vol. 10, no. 1–12, Art. no. 1–12, Mar 2018.