
Pengembangan *Trainer* Kendali PID pada Sistem Fisik Elektrik Terintegrasi Aplikasi Pemrograman Grafis

Adhitya Sumardi Sunarya¹, Fitria Suryatini², Elvyra Jovanka Rozani³

adhitya@ae.polman-bandung.ac.id, fitria@ae.polman-bandung.ac.id, elvyjovaroza@gmail.com
Politeknik Manufaktur Bandung

Informasi Artikel

Diterima : 16 Jul 2024
Direview : 16 Agu 2024
Disetujui : 3 Sep 2024

Kata Kunci

Mikrokontroler,
Pemodelan Sistem, PID,
Respon Sistem

Abstrak

Peningkatan kompetensi pembelajaran terkait sistem kendali adalah hal yang esensial untuk masa depan pendidikan di bidang ini. Politeknik Manufaktur Bandung bertekad meningkatkan proses pembelajaran dengan menggabungkan teori dan praktik bidang mekatronika dan otomasi yang tercermin dalam perkuliahan *Project-Based Learning*. Sebelumnya, institusi mengembangkan model *trainer* untuk sistem kendali yang hanya dibaca secara analog menggunakan osiloskop. Namun, model ini dianggap kurang mengimplementasikan teori kendali. Maka, dibuat sebuah *trainer* sistem fisik elektrik yang dapat dikendalikan dengan kendali PID yang terintegrasi dengan sebuah tampilan antarmuka. *Trainer* ini dievaluasi menggunakan skala Likert berbasis metode EMPI oleh 15 responden mahasiswa/i. Dengan nilai presentase rata-rata keseluruhan antarmuka 83,2%, *trainer* dinilai dapat merepresentasikan pembelajaran teori kendali secara aktual dan dapat menjadi *trainer* pembelajaran yang mendukung proses pembelajaran. Sehingga, *trainer* kendali PID pada sistem fisik elektrik terintegrasi aplikasi pemrograman grafis, diharapkan dapat memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap konsep teoritis serta secara aplikatif meningkatkan kualitas pendidikan di Politeknik Manufaktur Bandung.

Keywords

Microcontroller, Modelling
and Simulation, PID,
Response System

Abstract

Increased competencies in control systems are essential for the future of higher education in this field. Polytechnic Manufacturing Bandung aims to enhance the educational process by integrating theory and practice in automation and mechatronics, as reflected in their project-based learning curriculum. Previously, they created a trainer model for control systems that could only be read analogously with an oscilloscope, which was deemed insufficient for implementing control theory. Therefore, a physical trainer for electrical systems with an interface display and integrated PID controls is needed. Fifteen students evaluated this trainer using the Likert scale based on the EMPI approach, resulting in an average interface presentation score of 83.2%. This indicates that the physical trainer with PID controls and a graphical programming interface effectively represents control theory and supports the learning process.

A. Pendahuluan

Tantangan dalam penyelarasan materi pembelajaran baik secara teori maupun praktik dengan dunia nyata menjadi sebuah permasalahan yang tidak kunjung reda. Keseimbangan diantara keduanya perlu terwujud. Pasalnya, pemutakhiran dunia industri ke arah serba digital ditambah dengan perkembangan teknologi secara cepat dan masif menjadi dilema bagi dunia pendidikan [1]. Penguasaan materi melalui pemahaman konsep teoritis memerlukan alat bantu pembelajaran sehingga implementasi keahlian praktikal yang diunggulkan pada pembelajaran vokasi dapat terwujud secara nyata [2]. Salah satu implementasi inovasi pembelajaran pendidikan vokasi tercermin dengan dikembangkannya berbagai pendekatan dalam pengendalian sistem secara adaptif [3]. Selain itu, pendekatan pembelajaran berbasis *Project-Based Learning* (PBL) menjadi strategi peningkatan mutu pembelajaran secara aktif [4], serta adanya fasilitas proses pembelajaran seperti alat peraga juga dapat membuat pengguna meningkatkan kemampuan belajar dengan mengikuti perkembangan sekitar secara aktif sambil belajar [5].

Politeknik Manufaktur Bandung, melalui program studi Teknologi Rekayasa Otomasi dan Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, turut berupaya mengimplementasikan sistem kendali melalui pembelajarannya. Pembelajaran yang dimaksud mengintegrasikan 3 bidang kajian yaitu rekayasa mekanik, teknologi informasi, dan sistem kendali. Representasi bidang sistem kendali menuntut mahasiswa agar dapat memenuhi kompetensi baik secara teori maupun praktik dalam memodelkan dan mengendalikan suatu sistem [6]. Maka, dengan upaya memenuhi kebutuhan penguasaan sistem kendali dalam industri [7] yang tercermin dengan adanya kompetensi pembelajaran sistem kendali, dibutuhkan alat peraga pembelajaran yang dapat membuat mahasiswa lebih memahami teori pemodelan dan simulasi sistem kendali secara nyata dibandingkan dengan hanya melakukan pemahaman pengendalian PID melalui contoh pada buku teks cetak [8][9].

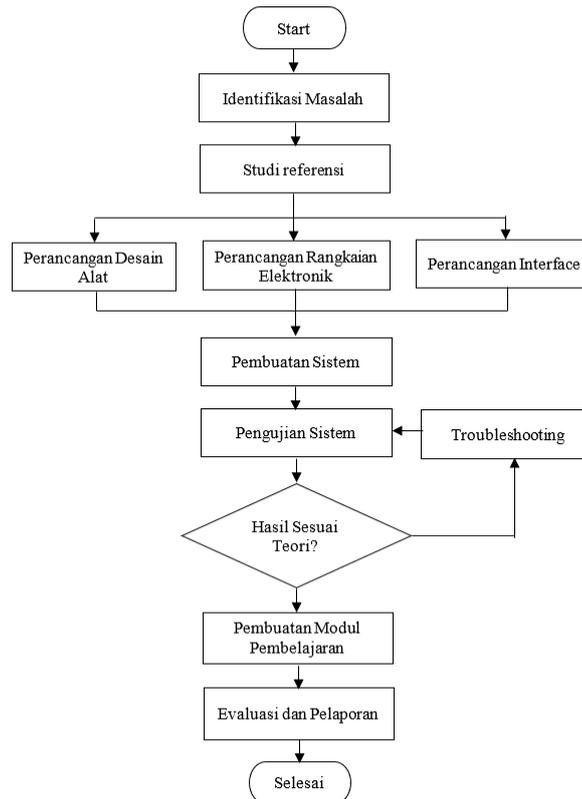
Berbagai penelitian pengembangan algoritma PID seperti merepresentasikan sistem fisik pada motor [10]–[12] dan masih banyak penelitian terkait telah dilakukan. Selain itu, penelitian terkait pembuatan modul pembelajaran yang linear dengan penelitian – penelitian sebelumnya seperti pada penelitian yang dilakukan oleh C. Rojas dan E. Arango menghasilkan model matematis dari sistem dinamis dengan metode eksperimental menggunakan akuisisi data Matlab [13]. E. Marpanaji, dkk., juga meneliti bagaimana pengaruh *trainer* PID *Controller* yang dibuat secara R&D dengan mengaplikasikan model Lee & Owens pada validasi dari ahli melalui uji alfa dan uji beta untuk mengevaluasi media yang dibuat [14]. Sebuah *teaching aid* model validasi untuk motor DC menggunakan LabVIEW sebagai tampilan antarmuka dan NI Elvis II sebagai pengendali dibuat oleh F. Suryatini, dkk., menghasilkan nilai 80% untuk segi kualitas antarmuka secara keseluruhan dari evaluasi responden kuisisioner [15]. Selain itu, Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, telah berusaha mengembangkan purwarupa alat pembelajaran pemodelan dan simulasi sistem kendali, seperti berfokus pada motor DC sebagai objek penelitian [6]. Namun, kelemahan purwarupa ini terletak pada tidak ada tampilan materi awal dari representasi model sistem fisik elektrik untuk sistem kendali dasar yang terintegrasi dengan teknologi seperti LabVIEW. Sebelumnya, perkuliahan teori

Pemodelan dan Simulasi serta praktikum Sistem Kendali didukung oleh alat peraga praktikum berupa servo *trainer* yang hanya dapat difungsikan secara analog saja, melalui *oscilloscope*, tanpa memasukkan perhitungan matematis di dalamnya. Oleh karena itu, alat ini dianggap kurang efektif dalam mengaplikasikan teori kendali karena praktikum hanya melibatkan eksperimen tanpa didasari teori kendali seperti perhitungan matematis didalamnya.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan alat bantu ajar kendali PID yang dioperasikan secara analog untuk sistem kendali dasar berupa sistem fisik elektrik yang dapat terintegrasi dengan aplikasi pemrograman grafis [16][17]. Sebagai contoh, sistem yang akan dibuat pada penelitian ini adalah *plant* sistem orde 1 dan orde 2 yang direpresentasikan oleh rangkaian elektronika seperti Op-Amp dengan keluaran berupa tegangan yang akan dikendalikan variasi konstanta komponen elektroniknya oleh pengguna dengan respon masukan dan keluaran yang dapat dilihat pada LabVIEW sebagai aplikasi pemrograman grafis berbasis blok yang terintegrasi pada *plant*. Dengan harapan terkuasai bidang keahlian sistem kendali seperti target keluaran pendidikan vokasi yang dikemas dalam pembelajaran PBL, pemahaman mahasiswa mengenai teori dasar sistem kendali akan meningkat dan kompetensi mahasiswa dalam analisis respon sistem terasah secara teori maupun praktik hingga dapat diaplikasikan di berbagai bidang kehidupan baik di bidang industri, bidang pendidikan maupun masyarakat umum[18]. Oleh karena itu, pengembangan *trainer* ini memungkinkan terobosan dalam cara berfikir dan secara aktif memungkinkan peningkatan kemampuan kognitif mahasiswa [5] ditunjukkan dengan presentase nilai kualitas antarmuka alat peraga yang diisi oleh mahasiswa sebagai bentuk evaluasi.

B. Metode Penelitian

Pengembangan trainer kendali PID pada sistem fisik elektrik menggunakan metode eksperimental dengan menggunakan tahapan-tahapan seperti yang terdapat pada diagram alir:



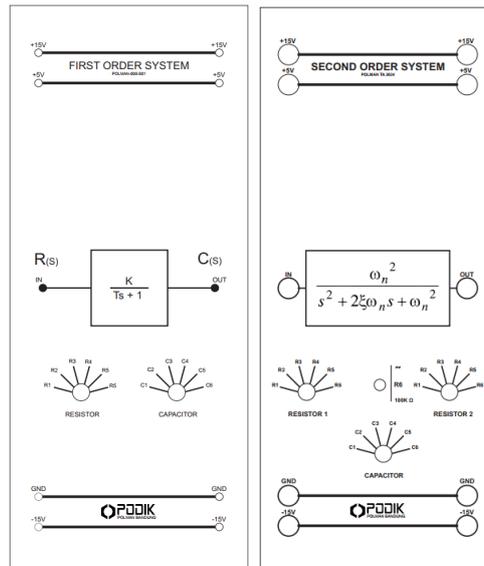
Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Diawali dengan identifikasi masalah, dilakukan analisis permasalahan di jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, tepatnya di Laboratorium Sistem Kendali, untuk mengetahui alat bantu ajar apa saja yang tersedia dan yang masih perlu dikembangkan. Tahapan selanjutnya adalah studi referensi untuk menemukan solusi dari permasalahan yang sudah dirumuskan. Setelah dirumuskan solusi, maka berikutnya dilanjutkan ke perancangan, mulai dari perancangan desain alat, rangkaian elektronika, sampai pada antarmuka. Perancangan yang sudah dibuat, diimplementasikan pada tahap pembuatan sistem. Sistem yang telah dibuat diujicobakan, apabila hasil belum sesuai dengan teori maka sistem akan diperbaiki dan diujikan kembali. Jika alat bantu ajar sudah berhasil dibuat, maka selanjutnya dilakukan pembuatan modul pembelajaran. Modul dibuat sesuai dengan capaian pembelajaran dan materi ajar sesuai kurikulum Prodi. Modul akan dibuat lebih interaktif supaya lebih mudah dipahami. Terakhir, untuk mendukung keberhasilan pengembangan trainer, evaluasi dilakukan salah satunya dengan mengujicobakan alat kepada mahasiswa/i dengan penilaian berdasarkan angket yang disusun.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, perancangan sistem terbagi kedalam tiga bagian.

Perancangan Desain Alat

Panel terdiri dari dua buah modul yakni plant sistem orde 1 dan plant sistem orde 2.



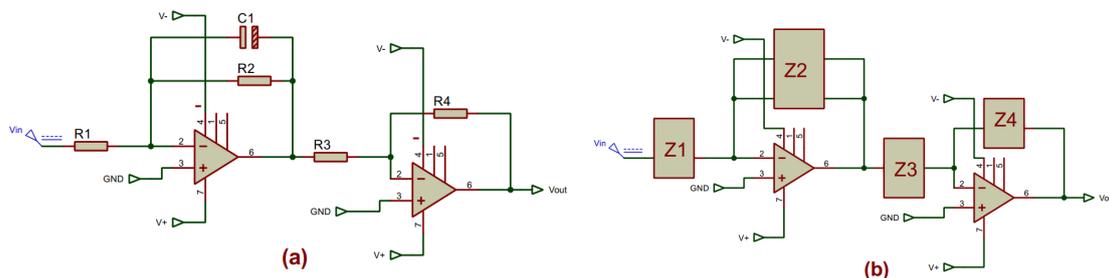
Gambar 2. Rancangan Desain Panel Plant Sistem Fisik Elektrik

Dalam implementasinya, alat akan dihubungkan dengan dua sumber tegangan untuk mengaktifkan rangkaian elektronika serta tegangan masukan untuk memberikan sinyal masukan. Pada sistem *open loop*, respon sinyal dapat langsung diambil. Pada sistem *close loop*, dibutuhkan modul tambahan yakni modul *summing block* serta modul *PID unit* yang ada di laboratorium.

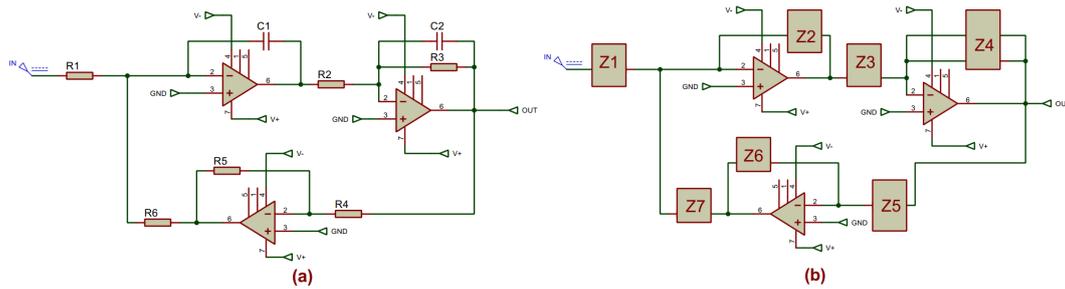
1. Perancangan Rangkaian Elektronika

Sistem fisik elektrik yang terdapat dalam penelitian ini mencakup sistem fisik elektrik untuk orde 1 dan orde 2. Kedua sistem mempunyai rangkaian yang berbeda. Kedua sistem memuat beberapa komponen pasif dan komponen aktif yang kemudian direpresentasikan dengan rangkaian pengganti (impedansi) untuk menurunkan persamaan matematis yang akan dipelajari oleh pengguna.

Rangkaian skematik untuk sistem fisik elektrik yang dirancang untuk merealisasikan model sistem orde 1 dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 adalah rangkaian skematik merealisasikan model sistem orde 2.



Gambar 3. (a)Rangkaian Skematik Sistem Orde 1, (b)Rangkaian Pengganti Sistem Orde 1



Gambar 4. (a)Rangkaian Skematik Sistem Orde 2, (b) Rangkaian Pengganti Sistem Orde 2

2. Perancangan Tampilan Antarmuka

Tampilan antarmuka menggunakan aplikasi LabVIEW sebagai aplikasi pemrograman grafis berbasis blok diagram[8]. Tampilan yang dirancang akan memuat beberapa menu yang berisi pengenalan materi pembelajaran dari kedua sistem, menu simulasi, dan menu implementasi.

3. Perancangan Pengujian

Adapun penjelasan lebih lanjut terkait pengujian sistem adalah untuk menguji kesesuaian sistem dengan kebutuhan pembelajaran. Maka, pengujian sistem terbagi ke dalam dua bagian. Pengujian alat dan pengujian media pembelajaran untuk menguji nilai kelayakan dari *trainer* yang dibuat. Penjelasan lebih lanjut terkait kedua pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

3.1. Pengujian alat

Pengujian alat dibutuhkan untuk menguji apakah alat yang dibuat dapat berjalan dengan baik. Pengujian alat terdiri dari menguji keluaran sinyal secara analog dengan menggunakan *oscilloscope*. Ketika sinyal berhasil didapatkan sesuai kriteria respon sistem orde 1 dan orde 2, maka pengujian berhasil.

3.2. Pengujian Media Pembelajaran

Pengujian *trainer* akan menghasilkan data kuantitatif dengan teknik deskriptif persentase yakni pemberian bobot nilai berdasarkan penyusunan angket dengan model skala Likert [19]. Adapun poin penilaian dapat didasari menggunakan metode EMPI [20]. Metode EMPI atau *Evaluation of Multimedia, Pedagogical and Interactive software* adalah sebuah metode yang digunakan untuk menjawab berbagai pertanyaan seperti mengestimasi kemudahan penggunaan sebuah program atau seperti apakah alat yang dibuat sudah sesuai dengan tampilan antarmuka sebagai parameter penilaian. Dengan antarmuka dapat dijalankan dan dinilai, maka penilaian alat tidak lagi diperlukan karena sudah direpresentasikan dengan evaluasi antarmuka yang dijalankan saat diuji oleh responden. Untuk menjawab pertanyaan di atas, metode EMPI menggunakan kuisisioner yang membagi evaluasi atau analisis menjadi enam tema utama yakni *General feeling, Computer Science Quality, Usability, Multimedia Documents, Scenario, dan Didactical*.

Agar tujuan dari alat pembelajaran dapat tercapai, penilaian kualitas antarmuka dengan metode EMPI menyajikan 20 pertanyaan antarmuka yang akan diisi oleh minimal 10% responden atau minimal 7 orang dari total populasi sebanyak 64 orang. Populasi ini terdiri dari 48 mahasiswa tingkat 2 Program Studi Teknik Rekayasa Otomasi, Polman Bandung 2023/2024 dan 5

dari 16 orang sampel perwakilan mahasiswa tingkat 3 Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika yang sedang berada di kampus saat melaksanakan Program Praktik Industri. Dengan kriteria mahasiswa tingkat 2 telah mempelajari dasar dari teori pemodelan dan simulasi, ditambah dengan mahasiswa tingkat 3 yang sudah mempelajari praktikum sistem kendali lanjutan, maka hasil dari penilaian dapat menjadi lebih variatif dan relevan.

Perhitungan Nilai

Pembobotan nilai yang digunakan dalam angket ini didasarkan pada keterangan berikut:

Tabel 1. Bobot Skala Penilaian

Skala	Keterangan	Singkatan
1	Sangat Tidak Setuju	STS
2	Tidak Setuju	TS
3	Netral	N
4	Setuju	S
5	Sangat Setuju	SS

Nilai setiap pertanyaan akan dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\text{nilai} = \frac{\sum_i \text{jumlah responden bobot dari responden } i}{\text{jumlah responden} \times 5} \times 100\% \quad (1)$$

Rumus tersebut menghitung nilai berdasarkan bobot dari setiap responden, yang kemudian dibagi dengan jumlah responden dikalikan dengan 5 (skala maksimum Likert), lalu dikalikan dengan 100% untuk mendapatkan nilai dalam persentase.

C. Hasil dan Pembahasan Implementasi Desain

Panel plant sistem orde 1 dan 2 diwujudkan secara modular dengan ukuran tinggi masing – masing panel adalah 30cm, dan lebar nya 13cm. Panel *plant* orde 1 mempunyai 2 kenob yang dapat diputar untuk memilih variasi konstanta komponen pasif berupa resistor dan kapasitor. Sedangkan panel *plant* orde 2 mempunyai 3 variasi konstanta komponen pasif yang dapat dipilih saat dijalankan.



Gambar 5. Tampilan Panel Plant Sistem Orde 1 dan 2

Implementasi Elektrik

Berikut adalah fisik dari PCB sistem orde 1 dan sistem orde 2 yang terdapat di dalam panel *plant*. Sebelum dijalankan, kedua PCB ini diuji jalur koneksi sehingga dapat dijalankan dengan baik.



Gambar 6. Tampilan PCB Plant Sistem Orde 1 dan 2

Implementasi Tampilan Antarmuka

Berikut ini adalah tampilan dari antarmuka yang dikembangkan:

- 1) Tampilan Pengenalan

Gambar 7 dan **Gambar 8** adalah halaman pengenalan terkait materi dasar pemodelan dan simulasi sistem orde 1 dan sistem orde 2. Didukung dengan sebuah modul pembelajaran tertulis, materi yang ditampilkan pada halaman pengenalan ini dijabarkan secara umum.

Teaching Aid PID Analog

Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronik
Politeknik Manufaktur Bandung

Introduction Orde 1
Model and Simulation Orde 1
Introduction Orde 2
Model and Simulation Orde 2
Implementasi

Syarat Ketentuan

Sebelum menggunakan alat bantu pembelajaran, pengguna diharapkan memenuhi kualifikasi berikut.

1. Pengguna sudah mendapatkan materi tentang pemrograman LabVIEW.
2. Pengguna sudah mendapatkan materi tentang pemodelan sistem.

Latar Belakang

Sistem orde 1 adalah konsep dalam teori kontrol yang menggambarkan respons sistem terhadap perubahan input atau gangguan.

Sistem orde 1 memiliki respons waktu yang eksponensial. Setelah perubahan input, sistem akan mencapai nilai setengah dari perubahan tersebut dalam satu waktu konstan tertentu (waktu konstan sistem).

Sistem pemanas ruangan dengan termistor sebagai elemen penyimpanan energi dan resistor sebagai elemen resistif dapat dianggap sebagai sistem orde 1.

Rangkaian Respon Sistem Orde 1

Blok Diagram Sistem Orde 1

Transfer Function Respon Sistem Orde 1

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2 / R_1}{sC_1 R_1 + 1}$$

Rangkaian Kendali PID Sistem Orde 1 (Close Loop)

Step Respon Dari Sistem Orde 1

Gambar 7. Halaman Pengenalan Materi Sistem Orde 1

Teaching Aid PID Analog
Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronik
Politeknik Manufaktur Bandung

Syarat Ketuntasan
Sebelum menggunakan alat bantu pembelajaran, pengguna diharapkan memenuhi kualifikasi berikut.
1. Pengguna sudah mendapatkan materi tentang pemrograman LabVIEW.
2. Pengguna sudah mendapatkan materi tentang pemodelan sistem.

Latar Belakang
Sistem orde 2 adalah konsep dalam teori kontrol yang menggambarkan respons sistem terhadap perubahan input atau gangguan.
Sistem orde 2 adalah sistem dinamis yang memiliki dua elemen penyimpanan energi (misalnya dua kapasitor atau dua induktor) dan dua elemen resistif (misalnya dua resistor).
Sistem orde 2 memiliki respons waktu yang lebih kompleks daripada sistem orde 1. Setelah perubahan input, sistem akan mengalami osilasi sebelum mencapai nilai setengah dari perubahan tersebut. Sistem orde 2 juga memiliki frekuensi resonansi tertentu di mana respons amplitudo maksimum terjadi.

Blok Diagram Sistem Orde 2
 $R(s) \rightarrow \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \rightarrow C(s)$

Blok Diagram Kendali Sistem Orde 2 (Close Loop)
 $R(s) \rightarrow \text{Controller} \rightarrow \text{Plant} \rightarrow Y(s)$

Transfer Function Sistem Orde 2
 $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$

Transfer Function Sistem Fisik Elektrik Orde 2
 $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_6 \left(\frac{1}{C\sqrt{R_1 R_6}} \right)^2}{s^2 + 2 \left(\frac{\sqrt{R_1 R_6}}{2R_1} \right) \left(\frac{1}{C\sqrt{R_1 R_6}} \right) s + \left(\frac{1}{C\sqrt{R_1 R_6}} \right)^2}$

Parameter Respon Sistem Orde 2
 $K = \frac{R_6}{R_1}$
 $\zeta = \frac{\sqrt{R_1 R_6}}{2R_3}$
 $\omega_n = \frac{1}{C\sqrt{R_1 R_6}}$

Step Respon Dari Sistem Orde 2
Graph showing Amplitude vs Time (s) with parameters M_p , t_s , t_p , and t_r . Damping ratio $\zeta = 0.02$ atau 0.05 .

Gambar 8 Halaman Pengenalan Materi Sistem Orde 2

2) Tampilan Simulasi

Setelah membaca dan memahami materi dasar, halaman simulasi digunakan untuk mensimulasikan respon sinyal dari *plant* sistem fisik elektrik sistem orde 1 dan sistem orde 2. Seperti yang tertera pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**, pengguna dapat memasukkan variasi nilai kontanta dari komponen pasif yang ada di masing – masing sistem agar dapat dikomparasikan respon keluarannya. Selain itu, pengguna dapat menbandingkan respon dari kedua sistem dengan kendali PID atau tanpa pengendalian.

Teaching Aid PID Analog
Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronik
Politeknik Manufaktur Bandung

SIMULATION FOR FIRST ORDER SYSTEM WITHOUT PID CONTROL
Equation 4

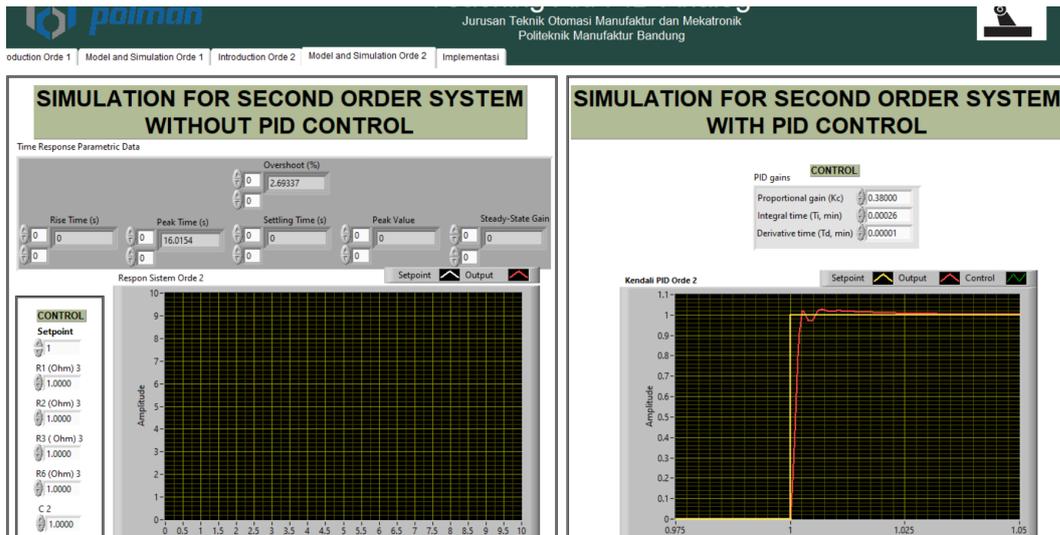
Time Response Parametric Data 2
Rise Time (s): 0, Overshoot (%): 2.69337
Peak Time (s): 16.0154, Steady-State Gain: 0
Settling Time (s): 0, Peak Value: 0

SIMULATION FOR FIRST ORDER SYSTEM WITH PID CONTROL
Kp: 0.8, 1, 1.2, 0.6, 1.4, 0.4, 1.8, 0.2, 2
Kd: 0.8, 1, 1.2, 0.6, 1.4, 0.4, 1.8, 0.2, 2
Ki: 0.8, 1, 1.2, 0.6, 1.4, 0.4, 1.8, 0.2, 2
Setpoint: 1, Delay (s): 1

Respon Sistem Orde 1
Set Point: 0
R1 (Ohm): 4, 1.0000
R2 (Ohm): 1.0000
C1: 3, 1.0000

Kendali PID Orde 1
Setpoint: 1, Output: 0, Control: 0

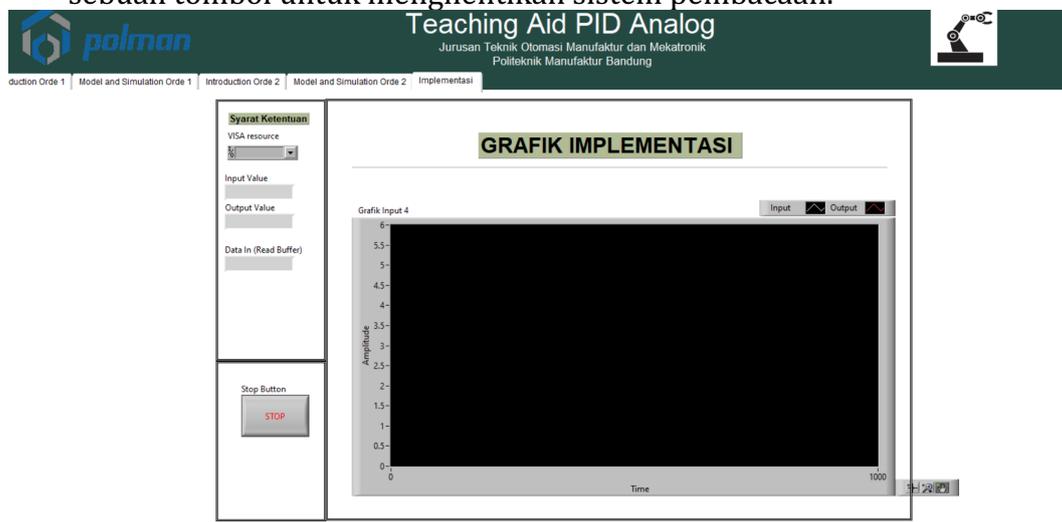
Gambar 9. Halaman Simulasi Sistem Fisik Elektrik Orde 1



Gambar 10 Halaman Simulasi Sistem Fisik Elektrik Orde 2

3) Tampilan Implementasi

Terakhir, halaman implementasi berperan untuk menampilkan nilai – nilai pembacaan yang diakuisisi datanya oleh *microcontroller* arduino yang dihubungkan dengan fitur NI-VISA yang ada pada LabVIEW. Pada halaman ini memuat fungsi LabVIEW sebagai *virtual instrument* (VI) interaktif untuk menggantikan pembacaan sinyal secara analog oleh *oscilloscope*. Sinyal pembacaan berupa grafik respon keluaran yang ditampilkan akan berbeda untuk setiap pemilihan variasi konstanta dari komponen pasif yang dipilih pada *plant* sistem fisik elektrik orde 1 dan orde 2. Pada tampilan juga, diberikan fitur pembacaan data tegangan yang masuk ke LabVIEW serta sebuah tombol untuk menghentikan sistem pembacaan.



Gambar 11. Halaman Implementasi

Media Pembelajaran



Gambar 12. Pembelajaran Kendali PID pada *Plant* Sistem Fisik Elektrik di Laboratorium

Aktualnya, pembelajaran kendali PID dapat diimplementasikan dengan bantuan modul tambahan yang sudah tersedia di laboratorium dengan mengkoneksikan modul PID pada modul *plant* sistem orde 1 dan 2 secara eksperimental. Gambar 10 adalah percobaan yang dilakukan oleh salah satu responden mahasiswa saat mengevaluasi *trainer* yang dikembangkan. Dapat dilihat, Akuisisi data pada *plant* yang awalnya hanya menggunakan *oscilloscope*, saat ini terintegrasi dengan pembelajaran interaktif yang terintegrasi dengan LabVIEW sebagai aplikasi pemrograman grafis.

Jumlah responden pengisian angket kuisisioner untuk mengevaluasi tampilan antarmuka adalah 15 orang mahasiswa dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Angket Penilaian

No	Aspek yang Dinilai	Modus (Skala)	Nilai (%)
1	Perangkat lunak LabVIEW 2022 mudah dipasang disetiap Laptop/PC mahasiswa	4	70,7
2	Aplikasi antarmuka mudah dibuka pada Laptop/PC (<i>TeachingAidAnalog_VI</i>)	5	85,3
3	Tidak terjadi <i>lagging</i> saat mendapatkan respon implementasi	3 dan 5	76
4	Materi pengajaran tersusun sesuai dengan bagiannya	4	84
5	Gambar, label, dan simbol dapat dipahami dengan mudah	5	81,3
6	Aksi pemberian input mendapatkan reaksi dari antarmuka (<i>TeachingAidAnalog_VI</i>)	5	85,3
7	Menu dan sub - menu pada antarmuka mudah untuk dipahami	5	80
8	Komposisi dari komponen - komponen penyusun tampilan antarmuka mudah untuk dipandang	5	84
9	Pengguna dapat menghentikan aktivitas pada antarmuka yang sedang berlangsung	5	85,3
10	Pengguna memahami instruksi yang diberikan	5	84
11	Pengguna dapat secara efektif menjalankan fitur simulasi dan implementasi	5	88
12	Pengguna dapat dengan mudah memahami maksud dan tujuan bacaan pada antarmuka	5	88
13	Tiap - tiap halaman pada antarmuka berisi informasi penting mengenai teori dan implementasi bahan ajar	5	85,3
14	Pengguna merasa nyaman saat membaca teks pada antarmuka	5	85,3
15	Alur bacaan pada sistem antarmuka mudah untuk di ikuti	5	85,3
16	Secara umum, kualitas tampilan gambar dan grafik memiliki kualitas yang baik dan nyaman untuk dilihat	5	84
17	Alat bantu ajar ini memberikan pengalaman belajar yang menyenangkan dan menarik	5	84
18	Alat bantu ajar ini mendorong untuk belajar lebih lanjut terkait sistem kendali	5	84
19	Alat bantu ajar ini menjelaskan konsep dan fungsi dasar sistem orde 1 dan sistem orde 2 dengan baik	5	86,7
20	Pengguna merasa sistem antarmuka (<i>TeachingAidAnalog_VI</i>) dapat meningkatkan kompetensi mahasiswa khususnya dalam pemahaman materi pemodelan dan simulasi, sistem kendali orde 1 dan sistem orde 2	5	82,7

Dapat dilihat pada Tabel 2, kebanyakan responden memilih skala 5 untuk 18 pertanyaan dengan keterangan bobot yaitu "sangat setuju" pada 18 pertanyaan yang diajukan. 2 diantara pertanyaan bernilai 4 dengan keterangan bobot "setuju" serta terdapat 1 pertanyaan yang jumlah modus pemilihannya sama besar, yakni berbobot 3 dengan keterangan "netral", pada pertanyaan nomor 3. Terdapat 19 pertanyaan, dengan masing - masing pertanyaan mendapatkan hasil di atas 80% dan 1 pertanyaan mendapatkan hasil di atas 70%.

Selanjutnya, hasil dari keseluruhan kuisioner dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rerata Penilaian Keseluruhan

No	Aspek yang Dinilai	Rata-Rata Penilaian	Nilai (%)
1	Kualitas Teknis Antarmuka	3,9	77,3
2	Ergonomi dan Skenario	4,2	84
3	Dokumen dan Multimedia Antarmuka	4,3	85,6

4	Struktur Pengajaran dan Kepahaman Materi	4,2	85,7
Total Nilai (%)			83,2

Tabel 3 menunjukkan nilai keseluruhan yang didapatkan dari hasil penilaian. Dengan total nilai sebesar 83,2%, Penilaian ini menghasilkan nilai yang cukup baik sehingga trainer kendali PID pada sistem fisik elektrik dengan aplikasi pemograman grafis LabVIEW, dinilai dapat menjadi alat peraga pembelajaran yang mendukung proses pembelajaran.

D. Simpulan

Pengembangan *trainer* yang mendukung pembelajaran mata kuliah Pemodelan dan Simulasi serta Sistem Kendali telah melalui 4 tahapan utama yakni mengidentifikasi kebutuhan, merancang sistem, mengimplementasi perancangan, dan menguji. Pengujian dibuat dalam bentuk evaluasi yang dilakukan dengan memberikan penilaian berbentuk angket atau kuisioner kepada 15 responden dari total 64 populasi yang dipilih. Kuisioner dibagi kedalam 4 tema utama dengan hasil presentase nilai rata-rata dari ke-4 tema utama tersebut adalah sebesar 83,2%. Dengan skala Likert yang terbagi menjadi 5 bobot penilaian yakni (1) Sangat Tidak Setuju; (2) Tidak Setuju; (3) Netral; (4) Setuju; dan (5) Sangat Setuju, modus penilaian yang dihasilkan adalah 5.

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan yang dikemukakan pada bagian sebelumnya, diperoleh kesimpulan bahwa pengembangan *Trainer* yang mengintegrasikan LabVIEW sebagai aplikasi pemograman grafis dengan kendali PID pada *plant* sistem fisik elektrik sistem orde 1 dan orde 2 telah berhasil diimplementasikan serta dapat memenuhi kebutuhan dalam pembelajaran mata kuliah Pemodelan dan Simulasi serta praktik sistem kendali di Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung.

E. Referensi

- [1] H. B. Gürocak, "Teaching analog and digital control theory in one course," *1999 Annual Conference. Manufacturing Engineering Washington State University, Vancouver, 1999*.
- [2] R. Rahmat and W. Wiyono, "Rancang Bangun Alat Peraga Pembelajaran Kendali Cerdas Dengan Mikrokontroler Avr," *Teknika*, vol. 7, no. 2, pp. 62–72, 2021, doi: 10.52561/teknika.v7i2.142.
- [3] Q. Sun, C. Du, Y. Duan, H. Ren, and H. Li, "Design and application of adaptive PID controller based on asynchronous advantage actor-critic learning method," *Wirel. Networks*, vol. 27, no. 5, pp. 3537–3547, 2021, doi: 10.1007/s11276-019-02225-x.
- [4] C. F. Rengifo and D. A. Bravo, "A Project-Based Learning Approach to Teach Identification and Control Systems," *Rev. Iberoam. Tecnol. del Aprendiz.*, vol. 15, no. 1, pp. 10–16, 2020, doi: 10.1109/RITA.2020.2979171.
- [5] U. B.-A. Ordu, "The Role of Teaching and Learning Aids/Methods in a Changing World," *Bulg. Comp. Educ. Soc.*, vol. 19, pp. 210–216, 2021.
- [6] P. M. Bandung, "Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika," www.polman-bandung.ac.id. Accessed: Jul. 06, 2024. [Online]. Available: <https://polman-bandung.ac.id/teknik-otomasi-manufaktur-dan->

- mekatronika-ae-2/
- [7] R. P. Borase, D. K. Maghade, S. Y. Sondkar, and S. N. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *Int. J. Dyn. Control*, vol. 9, no. 2, pp. 818–827, 2021, doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.
- [8] J. M. Kiss, P. T. Szemes, and P. Aradi, "Sliding mode control of a servo system in LabVIEW: Comparing different control methods," *Int. Rev. Appl. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 2, pp. 201–210, 2021, doi: 10.1556/1848.2021.00250.
- [9] E. Marpanaji, "Trainer Pid Controller Sebagai Media Pembelajaran Praktik Sistem Kendali," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–40, 2017, doi: 10.21831/elinvo.v2i1.16369.
- [10] N. R. Wibowo, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Sebagai Media Pembelajaran Praktikum Sistem Kendali Menggunakan Labview," *JST (Jurnal Sains Ter.*, vol. 6, no. 2, 2020, doi: 10.32487/jst.v6i2.775.
- [11] P. Syukriah, M. Z. Romdlony, and A. S. Wibowo, "Perancangan Alat Peraga Kendali Pid Analog Pada Sistem Kecepatan Putar Motor Dc," *eProceedings Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 2810–2817, 2019.
- [12] S. J. Hammoodi, K. S. Flayyih, and A. R. Hamad, "Design and implementation speed control system of DC motor based on PID control and matlab simulink," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 1, pp. 127–134, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i1.pp127-134.
- [13] C. Rojas and E. Arango, "Teaching Aids for Explaining the Effects of Integral , Derivative Teaching Aids for Explaining the Effects of Integral , Derivative Teaching the Effects of Integral , Derivative Teaching Aids for Explaining the Effects of Integral , Derivative Teaching Ai," *Int. Fed. Autom. Control*, 2019.
- [14] E. Marpanaji, B. Wulandari, M. Izzudin Mahali, and N. Fajaryati, "Trainer Pid Controller Sebagai Media Pembelajaran Praktik Sistem Kendali," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–40, 2017, doi: 10.21831/elinvo.v2i1.16369.
- [15] F. Suryatini, A. F. Rifa'i, and K. Ulya, "Model Validation of Brushed DC Motor Based on NI ELVIS II as a Teaching Aid," *ISMEE 2021 - 2021 3rd Int. Symp. Mater. Electr. Eng. Conf. Enhancing Res. Qual. F. Mater. Electr. Eng. a Better Life*, pp. 166–171, 2021, doi: 10.1109/ISMEE54273.2021.9774081.
- [16] M. Osaci and C. D. Cunțan, "Graphical programming environment for performing physical experiments," *Int. J. Mod. Educ. Comput. Sci.(IJMECS)*, vol. 12, no. 1, pp. 11–17, 2020.
- [17] A. H. Malik, A. A. Memon, and M. R. Khan, "AN AUTOMATED MODEL BASED SYNTHESIS OF VARIOUS CONTROLLERS USING LABVIEW GRAPHICAL PROGRAMMING," *Proc. Pakistan Acad. Sci.*, vol. 47, no. 4, pp. 253–264, 2010.
- [18] T. Pujiati and R. Risfendra, "Penerapan Kontroler PID Pada Sistem Kendali Level cairan Dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 55–60, 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.123.
- [19] A. Joshi, S. Kale, S. Chandel, and D. K. Pal, "Likert Scale: Explored and Explained," *Br. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 396–403, 2015, doi: 10.9734/BJAST/2015/14975.
- [20] S. Crozat, P. Trigano, and O. Hu, "EMPI : A questionnaire based method for the evaluation of multimedia interactive pedagogical software To cite this version : HAL Id : edutice-00000398 EMPI : A questionnaire based method

for the evaluation of multimedia interactive pedagogical software .,” 2004.