

**PENGEMBANGAN ALAT PERAGA PEMBELAJARAN
KENDALI PID PADA SISTEM FISIK ELEKTRIK
TERINTEGRASI APLIKASI PEMOGRAMAN GRAFIS**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Elvyra Jovanka Rozani

NIM 220441006



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:
**Pengembangan Alat Peraga Pembelajaran Kendali PID pada Sistem Fisik
Elektrik Terintegrasi Aplikasi Pemograman Grafis**

Oleh:
Elvyra Jovanka Rozani
NIM 220441006

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 06 Agustus 2024

Disetujui,

Pembimbing I,



Fitria Suryatini, S.Pd., M.T.
NIP. 198804242018032001

Pembimbing II,



Adhitva Sumardi Sunarya, S.Si., M.Si.
NIP. 198110052009121005

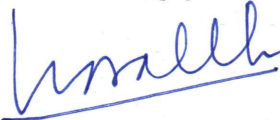
Disahkan,

Penguji I,



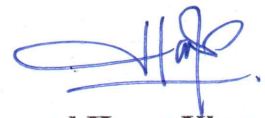
Suharyadi Pancono,
Dipl.Ing.HTL., M.T.
NIP. 196701171990031004

Penguji II,



Dr. Noval Lilansa, Dipl.Ing
(FH), M.T.
NIP. 197111231995121001

Penguji III,



Mohammad Harry Khomas
Saputra, S.T., M.Ti.
NIP. 198803242022031002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Elvyra Jovanka Rozani
NIM	:	220441006
Jurusan	:	Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi	:	Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi	:	Diploma 4
Jenis Karya	:	Tugas Akhir
Judul Karya	:	Pengembangan Alat Peraga Pembelajaran Kendali PID pada Sistem Fisik Elektrik Terintegrasi Aplikasi Pemograman Grafis

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 08 – 2024
Yang Menyatakan,



(Elvyra Jovanka Rozani)
NIM 220441006

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Elvyra Jovanka Rozani
NIM : 220441006
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pengembangan Alat Peraga Pembelajaran Kendali PID pada Sistem Fisik Elektrik Terintegrasi Aplikasi Pemograman Grafis

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 08 – 2024
Yang Menyatakan,



(Elvyra Jovanka Rozani)
NIM 220441006

MOTO PRIBADI

Jangan menyerah atas Rahmat Allah

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak yang sangat saya banggakan, keluarga yang senantiasa mendukung dan mendoakan, serta teman-teman dan semua pihak yang telah membuat saya bangkit dan membantu menyelesaikan tugas akhir ini. Jazakumullahu Khairan Katsiiran

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon ampun. Kami berlindung kepada-Nya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalan-Nya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Aku bersaksi bahwa tiada sembahsan yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagi-Nya. Aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hamba-Nya dan Rasul-Nya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul: “Pengembangan Alat Peraga Pembelajaran Kendali PID pada Sistem Fisik Elektrik Terintegrasi Aplikasi Pemograman Grafis”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.AB.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Otomasi, Ibu Nuryanti, S.T., M.Sc.
4. Para Pembimbing tugas akhir, Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T. dan Bapak Adhitya Sumardi Sunarya, S.Si., M.Si.

5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Suharyadi P., Dipl.Ing.HTL., M.T., Bapak Dr. Noval Lilansa, Dipl.Ing (FH)., M.T., dan Bapak M. Harry K. Saputra, S.T., M.Ti.
6. Panitia tugas akhir tahun ajaran 2023/2024.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis, Ibu Etty Komariah Sambas, S.kp, M.kep. dan Bapak Endang Roswana yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materil, dan spiritual kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk kakak penulis, A Ezza Aliya Nashrullah dan Teh Rana Ulfah, yang telah memberikan dukungan dan doa tak henti sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Untuk kakek dan nenek penulis, R. Tati Sudarti (Manung) dan Aki Amas Sambas, yang telah mendoakan serta mendukung tanpa lelah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Seluruh keluarga penulis, yang mendoakan serta menguatkan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Untuk rekan – rekan seperjuangan penulis, rekan – rekan kelas 4AEB-1 dan rekan AE'20 yang telah mendukung dalam penyelesaian tugas akhir ini.
12. Untuk adik dan kakak tingkat, terutama kepada Abang Haqqi, Kang Bernadus, Kang Shufi, Teh Hasna, Ahmed, Rafy, Vincent, Abrar, Aji, dan para adik dan kakak koin 6, Tim PBL AE'22.
13. Serta seluruh pihak lain yang telah turut membantu dan tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 06 Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

Peningkatan kompetensi pembelajaran terkait pemodelan sistem orde 1 dan 2 adalah hal yang esensial untuk masa depan pendidikan di bidang sistem kendali. Tercermin dalam perkuliahan *Project-Based Learning*, Politeknik Manufaktur Bandung bertekad meningkatkan proses pembelajaran dengan mengimplementasikan teori dasar pada praktik di bidang mekatronika dan otomasi melalui pengembangan trainer sistem kendali yang sudah ada. Sebelumnya, *trainer* hanya dapat mengendalikan kecepatan dan posisi motor secara eksperimental. Namun, model ini dianggap kurang mengimplementasikan teori kendali dikarenakan tidak ada keterlibatan teoritis seperti perhitungan matematis di dalamnya. Maka, untuk mendukung pemahaman mahasiswa, dibuat sebuah trainer sistem fisik elektrik yang merepresentasikan pengendalian orde 1 dan 2 melalui rangkaian RC dengan pendekatan impedansi serta dapat dikendalikan dengan kendali PID yang terintegrasi dengan sebuah tampilan antarmuka. Trainer ini divalidasi oleh expert yakni dosen pengampu mata kuliah sistem kendali dan dievaluasi menggunakan skala Likert berbasis metode EMPI oleh 15 responden mahasiswa/I untuk penilaian efektivitas antarmuka. Nilai presentase rata – rata keseluruhan kuisisioner yang didapatkan adalah 83,2% dengan modus penilaian yang dipilih adalah skala 5 yakni sangat setuju dengan pertanyaan yang diajukan. Dengan hasil yang didapatkan, alat peraga pembelajaran kendali PID pada sistem fisik elektrik yang terintegrasi aplikasi pemograman grafis dinilai dapat merepresentasikan pembelajaran teori sistem kendali dasar secara aktual dan dapat menjadi trainer pembelajaran yang mendukung proses pembelajaran sehingga meningkatkan pemahaman dan kompetensi mahasiswa di Politeknik Manufaktur Bandung pada bidang sistem kendali.

Kata kunci: Mikrokontroler, Pemodelan dan Simulasi, PID, Respon Sistem, LabVIEW

ABSTRACT

Increasing learning competencies related to modeling system of first and second order are essential for the future of education in the field of control systems. Reflected in the project-based learning curriculum, Bandung Polytechnic of Manufacturing is determined to improve the learning process by implementing basic theory to practice in the field of mechatronics and automation through the development of existing control trainer systems. Previously, trainers could only control the speed and position of the motor experimentally. However, this model is considered less implementing control theory because it has no such theoretical involvement as mathematical calculations in it. Then, in order to support student understanding, a physical electrical system trainer was created that represents first and second order control system through RC circuit with impedance approaches and can be controlled using PID controls which is integrated with an interface display. The trainer was validated by the expert, the lecturer of the control system and evaluated using the Likert scale based on the EMPI method by 15 student respondents to assess the effectiveness of the interface. Average overall presentation value of the questionnaire obtained is 83.2% with the evaluation value chosen mostly on scale of 5 i.e. fully agree with the question asked. With the results obtained, PID control teaching aids on electrical physical systems that are integrated graphical programming applications evaluated can represent the learning theory of basic control systems in actual terms and can be a learning trainer that supports the learning process thus improving the understanding and competence of students at Polytechnic Manufacturing Bandung in the field of control systems.

Keywords: *Microcontroller, Modelling and Simulation, PID, System Response, LabVIEW*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI).....	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvii
I BAB I PENDAHULUAN.....	I.1
I.1 Latar Belakang	I.1
I.2 Rumusan Masalah	I.3
I.3 Batasan Masalah.....	I.4
I.4 Tujuan dan Manfaat	I.5
I.5 Sistematika Penulisan	I.5
II BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II.1
II.1 Tinjauan Teori.....	II.1
II.1.1 Model Matematis.....	II.1
II.1.2 Fungsi Alih.....	II.2
II.1.3 Sistem <i>Loop</i> Terbuka	II.2
II.1.4 Sistem Loop Tertutup	II.3
II.1.5 Respon Transien.....	II.3
II.1.6 Pengendalian PID.....	II.5
II.1.7 Media Pembelajaran.....	II.7
II.1.8 Labview	II.8
II.2 Tinjauan Alat	II.10
II.2.1 PUDAK Servo Trainer	II.10
II.2.2 Arduino Uno R3	II.12
II.3 Studi Penelitian Terdahulu.....	II.12
III BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III.1

III.1	Metode Penelitian	III.1
III.2	Gambaran Umum Sistem.....	III.3
III.3	Blok Diagram Sistem Kendali	III.5
III.4	Sub Perancangan Spesifik.....	III.6
III.4.1	Rancangan Mekanik	III.6
III.4.2	Rancangan Elektrik.....	III.8
III.4.3	Rancangan Komunikasi.....	III.9
III.4.4	Rancangan Antarmuka.....	III.10
III.5	Rancangan Pembelajaran	III.11
III.6	Sub Perancangan Analisis dan Pengujian.....	III.12
III.6.1	Rancangan Analisis Data Respon Sistem	III.12
III.6.2	Rancangan Pengujian Sistem	III.12
III.6.3	Pengujian Respon Sistem Orde 1 dan Orde 2	III.13
III.6.4	Pengujian kendali PID pada <i>plant</i> orde 1 dan Orde 2	III.13
III.6.5	Pengujian Sebagai Media Pembelajaran.....	III.13
III.6.6	Evaluasi Antarmuka	III.15
IV	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV.1
IV.1	Pemodelan Sistem Fisik Elektrik.....	IV.1
IV.1.1	Kalkulasi Matematis Orde 1.....	IV.1
IV.1.2	Kalkulasi Matematis Orde 2.....	IV.4
IV.2	Realisasi Hasil	IV.7
IV.2.1	Visualisasi Skematik Elektrik Sistem Orde 1	IV.7
IV.2.2	Visualisasi Skematik Elektrik Sistem Orde 2	IV.8
IV.2.3	Visualisasi Elektrik Alat	IV.9
IV.2.4	Visualisasi Mekanik Alat	IV.10
IV.3	Tampilan Antarmuka.....	IV.11
IV.3.1.	Tampilan Pendahuluan	IV.11
IV.3.2.	Tampilan Simulasi.....	IV.12
IV.3.3.	Tampilan Implementasi	IV.13
IV.4	Integrasi Sistem.....	IV.14
IV.5	Pengujian <i>Signal Conditioner</i>	IV.16
IV.6	Pengujian Respon Sistem tanpa Kendali.....	IV.18
IV.5.1.	Sistem Orde 1	IV.18
IV.5.2.	Sistem Orde 2	IV.21
IV.7	Pengujian Respon Sistem dengan Kendali Analog.....	IV.25
IV.7.1	Sistem Orde 1.....	IV.25

IV.7.2	Sistem Orde 2.....	IV.29
IV.8	Pengujian Antarmuka	IV.32
IV.9	Pengujian Aspek Pedagogi Antarmuka.....	IV.35
IV.9.1	Hasil Angket Tiap Sub-Tema	IV.35
IV.10	Hasil Keseluruhan.....	IV.42
V	BAB V PENUTUP	V.1
V.1	Kesimpulan	V.1
V.2	Saran.....	V.2
DAFTAR PUSTAKA		iii
LAMPIRAN.....		vii

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Efek pengendalian PID pada respon sistem closed-loop [27].....	II.7
Tabel II. 2 Spesifikasi modul PUDAK Servo <i>Trainer</i>	II.11
Tabel II. 3 Penelitian Terdahulu.....	II.13
Tabel III.1 Kuisioner Evaluasi Antarmuka Pengguna	III.15
Tabel III.2 Keterangan Bobot Nilai	III.17
Tabel IV.1 Tabel Hasil Variasi Nilai Orde 1	IV.4
Tabel IV.2 Tabel Kalkulasi Nilai Orde 2	IV.6
Tabel IV.3 Tabel variasi konstanta nilai resistor kapasitor orde 2.....	IV.6
Tabel IV.4 Tabel pengujian rangkaian pembagi tegangan.....	IV.17
Tabel IV.5 Tabel pengujian tegangan 6 variasi konstanta orde 1	IV.18
Tabel IV.6 Tabel pengujian tegangan variasi konstanta tetap orde 1	IV.18
Tabel IV.7 Tabel pengujian tegangan berbagai variasi konstanta orde 2	IV.21
Tabel IV.8 Tabel pengujian tegangan beberapa konstanta tetap orde 2	IV.22
Tabel IV.9 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (P) untuk orde 1	IV.25
Tabel IV.10 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (PI) untuk orde 1.....	IV.26
Tabel IV.11 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (PD) untuk orde 1	IV.26
Tabel IV.12 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (PID) untuk orde 1.....	IV.27
Tabel IV.13 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (P) untuk orde 2	IV.29
Tabel IV.14 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (PI) untuk orde 2.....	IV.29
Tabel IV.15 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (PD) untuk orde 1	IV.30
Tabel IV.16 Tabel pengujian tegangan keluaran <i>plant</i> (PID) untuk orde 1.....	IV.30
Tabel IV.17 Tabel hasil pengisian kuisioner kategori kualitas teknis antarmuka	IV.40
Tabel IV.18 Tabel hasil pengisian kuisioner kategori ergonomi dan <i>scenario</i> antarmuka.....	IV.40
Tabel IV.19 Tabel hasil pengisian kuisioner kategori dokumen dan multimedia antarmuka.....	IV.41
Tabel IV.20 Tabel hasil pengisian kuisioner kategori struktur pengajaran dan keahaman materi	IV.41
Tabel IV.21 Hasil Angket Penilaian Antarmuka	IV.42
Tabel IV.22 Rerata Penilaian Keseluruhan.....	IV.44

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Bentuk – bentuk sinyal uji (a)impuls, (b)step, (c)ramp, dan (d)parabolik [22], [20].....	II.4
Gambar II.2 Respon sinyal <i>step</i> terhadap sistem orde 1 [20], [22], [23]	II.4
Gambar II.3 Respon sinyal unit step pada sistem orde 2 [20], [22], [23]	II.5
Gambar II.4 Blok diagram sistem kendali [12].....	II.6
Gambar II.5 Blok diagram spesifikasi sistem kendali [12].....	II.6
Gambar II.6 Respon sistem oleh pengendali: (a)P (b)PD (c)PID[12]	II.7
Gambar II.7 PUDAK Servo <i>Trainer</i> [16]	II.10
Gambar II.8 Arduino Uno R3[30].....	II.12
Gambar III.1 Metodologi Penelitian VDI2206[32]	III.1
Gambar III.2 Alur pengerjaan sistem.....	III.2
Gambar III.3 Gambaran Umum Sistem Orde 1 dan 2 <i>Open Loop</i>	III.4
Gambar III.4 Gambaran Umum Sistem Orde 1 dan 2 <i>Close Loop</i>	III.4
Gambar III.5 Blok diagram <i>Open Loop</i> sistem kendali orde 1 dan orde 2	III.5
Gambar III.6 Blok diagram <i>Closed Loop</i> sistem kendali orde 1 dan orde 2.....	III.5
Gambar III.7 Alur diagram perancangan mekanik	III.6
Gambar III.8 Desain visualisasi panel modul orde 1 dan orde 2	III.7
Gambar III.9 Desain cover panel modul orde 1 dan orde 2	III.8
Gambar III.10 Rancangan elektrik pada sistem akuisisi data	III.9
Gambar III.11 Diagram alir akuisisi data.....	III.10
Gambar IV. 1 Rangkaian elektrik sistem fisik elektrik orde 1	IV.1
Gambar IV.2 Perhitungan Orde 1 menggunakan Matlab.....	IV.3
Gambar IV.3 Rangkaian elektrik sistem fisik elektrik orde 2.....	IV.4
Gambar IV.4 Skematik Elektrik Orde 1.....	IV.7
Gambar IV.5 Skematik Elektrik Orde 1 dengan Keseluruhan Variasi Nilai	IV.8
Gambar IV.6 Skematik Elektrik Orde 2.....	IV.8
Gambar IV.7 Skematik Elektrik Orde 2 dengan Keseluruhan Variasi Nilai	IV.9
Gambar IV.8 Layout PCB Orde 1.....	IV.9

Gambar IV.9 Layout PCB Orde 2.....	IV.10
Gambar IV.10 Panel <i>plant</i> Sistem Orde 1 dan 2.....	IV.10
Gambar IV.11 Halaman pengenalan materi sistem orde 1	IV.11
Gambar IV.12 Halaman pengenalan materi sistem orde 2	IV.11
Gambar IV.13 Halaman simulasi sistem orde 1.....	IV.12
Gambar IV.14 Halaman simulasi sistem orde 2.....	IV.12
Gambar IV.15 Halaman implementasi.....	IV.13
Gambar IV. 16 Program Arduino IDE.....	IV.14
Gambar IV. 17 Blok diagram implementasi LabVIEW.....	IV.15
Gambar IV.18 Rangkaian Pembagi Tegangan.....	IV.16
Gambar IV.19 Grafik hasil respon variasi resistor $68K\Omega$	IV.19
Gambar IV.20 Grafik hasil respon variasi resistor $100K\Omega$	IV.19
Gambar IV.21 Grafik hasil respon variasi resistor $220K\Omega$	IV.20
Gambar IV.22 Grafik hasil respon variasi resistor $68K\Omega$	IV.20
Gambar IV.23 Grafik hasil respon variasi resistor $100K\Omega$	IV.20
Gambar IV.24 Grafik variasi hasil respon resistor $220K\Omega$	IV.21
Gambar IV. 25 Grafik respon variasi $R1=68K\Omega$, $R3=51K\Omega$, $C=100nF$	IV.23
Gambar IV. 26 Grafik respon variasi $R1=100K\Omega$, $R3=51K\Omega$, $C=100nF$	IV.23
Gambar IV. 27 Grafik respon variasi $R1=200K\Omega$, $R3=51K\Omega$, $C=100nF$	IV.23
Gambar IV. 28 Grafik respon variasi $R1=100K\Omega$, $R3=51K\Omega$, $C=1\mu F$	IV.24
Gambar IV.29 Grafik respon variasi $R1=68K\Omega$, $R3=470K\Omega$, $C=100nF$	IV.24
Gambar IV.30 Grafik hasil kendali P arah jam 9.....	IV.27
Gambar IV.31 Grafik hasil kendali PI keduanya arah jam 9	IV.27
Gambar IV.32 Grafik hasil kendali PD keduanya arah jam 9.....	IV.28
Gambar IV.33 Grafik hasil kendali PID ketiganya arah jam 9	IV.28
Gambar IV.34 Grafik hasil kendali P arah jam 9.....	IV.30
Gambar IV.35 Grafik hasil kendali PI keduanya arah jam 9	IV.31
Gambar IV.36 Grafik hasil kendali PD keduanya arah jam 9.....	IV.31
Gambar IV.37 Grafik hasil kendali PID ketiganya arah jam 5	IV.31
Gambar IV.38 Tampilan grafik saat <i>plant</i> tidak dinyalakan.....	IV.32
Gambar IV.39 Tampilan grafik saat <i>plant</i> dinyalakan.....	IV.33
Gambar IV.40 Tampilan grafik saat <i>plant</i> diberi tegangan 5,4V.....	IV.33

Gambar IV.41 Tampilan grafik saat <i>plant</i> dirubah tegangan 5V menjadi 9,8V	IV.34
Gambar IV.42 Tampilan grafik <i>plant</i> sistem fisik elektrik orde 2.....	IV.34
Gambar IV. 43 Hasil Survei Pertanyaan Kualitas Teknis Antarmuka.....	IV.36
Gambar IV. 44 Hasil Survei Pertanyaan Ergonomi dan Skenario Antarmuka	IV.37
Gambar IV. 45 Hasil Survei Pertanyaan Dokumen dan Multimedia Antarmuka	IV.38
Gambar IV. 46 Hasil Survei Struktur dan Pengajaran Antarmuka	IV.39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 - Pengujian tegangan keluaran respon orde 1 pada <i>Oscilloscope</i> dengan berbagai variasi kapasitor	vii
Lampiran 2 - Pengujian tegangan respon Orde 2 pada <i>Oscilloscope</i> dengan variasi resistor dan kapasitor.....	ix
Lampiran 3 – Instrumen materi yang divalidasi oleh <i>expert</i> (dosen pengampu mata kuliah Sistem Kendali).....	xiii
Lampiran 4 – Rangkaian skematik elektrik sistem fisik elektrik orde 1 dan orde 2	xv
Lampiran 5 - Gambar desain mekanik 3D <i>cover</i> panel modul <i>plant</i> orde 1 dan 2	xvi
Lampiran 6 - Blok diagram simulasi sistem orde 1 dan orde 2 LabVIEW	xvii
Lampiran 7 – <i>Datasheet</i> konfigurasi kaki op-amp UA741	xviii

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

V = tegangan [volt]

I = arus listrik [Ampere]

R = resistansi [Ohm]

C = kapasitor [farad]

t = waktu [detik]

K = kilo

M = mikro

K_p = Kendali proporsional

K_i = Kendali integral

K_d = Kendali derivative

P = Proporsional

I = Integral

PI = Proporsional – Integral

PD = Proporsional Derivative

PID = Proporsional - Integral – Derivative

$G(s)$ = fungsi alih dalam Laplace

$C(s)$ = transformasi Laplace dari *output* sistem

$R(s)$ = transformasi Laplace dari *input* sistem

$E(s)$ = transformasi Laplace dari kesalahan sistem

$U(s)$ = transformasi Laplace dari kendali sistem

$K(s)$ = penguatan

τ = konstanta waktu[t]

ω_n = frekuensi alamiah tak teredam [rad/s]

ζ = zeta = rasio redaman

t_r = *Rise Time*

t_s = *settling time*

t_d = *delay time*

t_c = *time constant*

E_{ss} = *error steady state*

VI = *virtual instrument*

DAQ = data *acquisition*

GUI = *graphical user interface*

PWM = *pulse width Modulation*

USB = *universal serial bus*

EMPI = *Evaluation of Multimedia, Pedagogical and Interactive software*

DC = direct current

RMSE = *Root Mean Squared Error*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

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 melalui contoh pada buku teks cetak [2], [5], [8].

Pada tahun 2017, 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 [9]. Berbagai penelitian pengembangan algoritma PID sebagai kendali pada motor telah banyak dilakukan seperti pada penelitian [10]–[12]. Selain motor, penelitian untuk membuat modul pembelajaran yang linear dengan penelitian – penelitian sebelumnya seperti pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 oleh C. Rojas dan E. Arango menghasilkan model matematis dari sistem dinamis dengan metode eksperimental menggunakan akuisisi data Matlab [13]. Sebuah *teaching aid* model validasi untuk motor DC menggunakan LabVIEW sebagai tampilan antarmuka dan NI Elvis II sebagai pengendali dibuat pada tahun 2021 oleh F. Suryatini, dkk., menghasilkan nilai 80% untuk segi kualitas antarmuka secara keseluruhan dari evaluasi responden kuisioner [14].

Selain penelitian – penelitian di atas, Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, telah berusaha mengembangkan purwarupa alat peraga pembelajaran sistem kendali dengan mahasiswa sebagai responden pegujian yang berfokus pada 2 motor DC sebagai objek penelitiannya. Kholifatul Ulya (2021), membuat sebuah purwarupa menggunakan 2 buah motor DC yang diberikan berbagai nilai tegangan masukan. Penelitian ini menghasilkan validasi nilai tegangan optimal model motor DC sebesar 3-12V dengan nilai rata – rata pengujian pedagogi antarmuka sebesar 80% [15]. Penelitian ini mempunyai satu kelemahan yang yakni tidak ditampilkan materi awal representasi teori pemodelan dan simulasi untuk sistem kendali yang terintegrasi dengan teknologi yang digunakan yakni LabVIEW. Selain purwarupa *teaching aid* yang telah diteliti di Politeknik Manufaktur Bandung, mata kuliah Sistem Kendali ditunjang dengan alat peraga praktikum berupa servo *trainer* keluaran Pudah [16]. Sehingga, alat peraga yang sudah dimiliki saat ini, dianggap kurang mengimplementasikan teori kendali dikarenakan praktikum hanya dilakukan melalui eksperimen seperti

mengubah putaran kenob tanpa tau perhitungan matematis dari fungsi alih pada *plant*. Selain itu, modul yang teradapat pada *trainer* tersebut tidak terintegrasi dengan aplikasi pemograman seperti LabVIEW sehingga respon sistem hanya dapat dilihat melalui osiloskop saja.

Berdasarkan permasalahan di atas, dibutuhkan sebuah alat bantu ajar yang dapat memberikan materi dasar pada sistem kendali direpresetasikan dengan sistem fisik elektrik yang dapat dikendalikan dengan PID dan dapat terintegrasi dengan aplikasi pemograman grafis seperti LabVIEW. 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 variasi konstanta komponen elektronika pada sistem yang dapat dipilih oleh pengguna sehingga respon masukan dan keluaran sistem dapat dilihat bukan hanya pada osiloskop, tetapi dapat dilihat juga pada LabVIEW sebagai aplikasi pemograman grafis berbasis blok yang terintegrasi pada *plant*. Kemudian, evaluasi terkait pembelajaran akan dilakukan dengan cara memberikan presentase nilai kualitas antarmuka alat peraga yang diisi oleh mahasiswa sebagai bentuk evaluasi. Dengan harapan terkuasai bidang keahlian sistem kendali seperti target keluaran pendidikan vokasi yang dikemas dalam pembelajaran PBL, pemahaman mahasiswa mengenai teori dasar sistem kendali dapat tercapai dan kompetensi mahasiswa dalam menganalisis respon sistem terasah secara teori maupun praktik hingga dapat diaplikasikan di berbagai bidang kehidupan [17], [18].

I.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian kali ini:

- 1) Bagaimana perancangan alat peraga pembelajaran sistem fisik elektrik modul orde 1 dan modul orde 2?
- 2) Bagaimana mengintegrasikan alat peraga pembelajaran yang dibuat dengan antarmuka LabVIEW?
- 3) Bagaimana efektivitas alat peraga pembelajaran yang dibuat untuk pembelajaran sistem kendali dasar?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat lebih spesifik, maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Alat peraga pembelajaran sistem fisik elektrik yang dibuat berfokus membuat modul sistem orde 1, sistem orde 2 dengan menggunakan pendekatan impedansi.
- 2) Kendali *plant* sistem orde 1 dan sistem orde 2 menggunakan modul PID Unit yang ada pada *plant servo trainer* dengan merubah putaran kenob yang terdapat pada modul PID Unit dalam batasan jumlah percobaan tertentu.
- 3) Antarmuka yang digunakan berbasis komputer dengan aplikasi pemograman grafis LabVIEW sebagai perangkat lunak *virtual instrument* yang dihubungkan dengan mikroKendaliler Arduino sebagai perangkat keras untuk akusisi data sistem.
- 4) Penentuan materi sistem kendali dasar pada alat peraga pembelajaran dibuat berdasarkan penilaian ahli (*expert judgement*) yakni salah satu dosen pengampu Mata Kuliah Sistem Kendali POLMAN Bandung.
- 5) Penilaian alat peraga pembelajaran berdasarkan *instrument* pengujian yang divalidasi oleh dosen pengampu mata kuliah Sistem Kendali POLMAN Bandung sebagai ahli media.
- 6) Pengujian alat peraga pembelajaran dilakukan oleh beberapa responden mahasiswa tingkat 2 atau tingkat 3 Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur Dan Mekatronika POLMAN Bandung menggunakan *instrument* pengujian antarmuka yang sudah divalidasi seperti yang disebutkan pada poin 5.
- 7) Pemberian sinyal uji terbatas pada masukan sinyal uji *step*.
- 8) Variasi pemilihan nilai resistansi dan kapasitansi pada modul orde 1 dan 2 disesuaikan dengan ketersediaan komponen elektrik yang ada di pasaran. Variasi nilai berjumlah 6 dan dipilih secara acak dengan mempertimbangkan minimal satu perubahan variabel respon *transien* yang dihasilkan.
- 9) Pengaruh kendali PID dilakukan dengan mengobservasi keluaran yang ditampilkan pada osiloskop dari putaran kenob yang ada pada *servo trainer* PUDAK

I.4 Tujuan dan Manfaat

Mengacu pada rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Membuat sebuah alat peraga pembelajaran yang mendukung teori pemodelan dan simulasi sistem kendali dengan membuat modul sistem fisik elektrik orde 1 dan orde 2,
- 2) Mengintegrasikan alat peraga pembelajaran sistem kendali dengan sebuah aplikasi pemograman grafis yakni LabVIEW.
- 3) Memberikan manfaat bagi pembelajaran terkait mata kuliah Pemodelan dan Simulasi, Sistem Kendali.

Mengacu pada rumusan masalah dan tujuan di atas, manfaat penelitian ini adalah membantu mahasiswa/i Politeknik Manufaktur Bandung menyerap ilmu mengenai pemodelan dan simulasi dalam mata kuliah Sistem Kendali. Selain itu, membantu pengajar untuk menyampaikan ilmu dengan mensimulasikan menggunakan alat bantu pembelajaran (*teaching aid*).

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Karya Tulis Ilmiah Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi realisasi dan pemaparan hasil pengujian sistem kaitan dengan tuntutan yang harus dipenuhi.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan dan saran pengembangan dari TA untuk peneliti selanjutnya.