

Rancang Bangun Alat Bantu Pembelajaran Kendali *Steering Wheel* di Sistem *Steer-by-Wire* pada *Front Wheel* Kendaraan

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan

Oleh

Nadya Zahra Putriutami

221341035



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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Rancang Bangun Alat Bantu Pembelajaran Kendali *Steering Wheel* di Sistem
Steer-by-Wire pada *Front Wheel* Kendaraan**

Oleh:

Nadya Zahra Putriutami

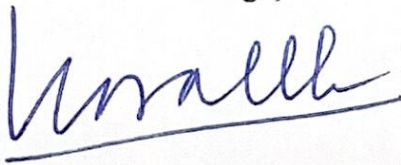
221341035

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

Bandung, 31 Juli 2025

Disetujui,

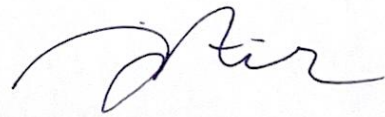
Pembimbing I,



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

NIP. 197111231995121001

Pembimbing II,



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

NIP. 198804242018032001

Disahkan,

Penguji I,



Nuryanti, S. T., M. Sc.

NIP.197604262009122002

Penguji II,



Hendy Rudiansyah, S.T.,

M.Eng

NIP. 198105072008101001

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 : Nadya Zahra Putriutami
NIM : 221341035
Jurusan : Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan
Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Alat Bantu Pembelajaran
Kendali *Steering Wheel* di Sistem *Steer-by-
Wire* pada *Front Wheel* Kendaraan

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 : 31 – 07 – 2025
Yang Menyatakan,

(Nadya Zahra Putriutami)
NIM 221341035

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

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

Nama : Nadya Zahra Putriutami
NIM : 221341035
Jurusan : Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan
Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun Alat Bantu Pembelajaran
Kendali *Steering Wheel* di Sistem *Steer-by-Wire*
pada *Front Wheel* Kendaraan

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 Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif 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 : 31 – 07 – 2025
Yang Menyatakan,

(Nadya Zahra Putriutami)
NIM 221341035

MOTO PRIBADI

Apa yang kamu tanam, itulah yang akan kamu tuai.
Maka, tanamlah kebaikan sebanyak-banyaknya dan
jadilah pribadi yang bermanfaat bagi semua makhluk.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak-kakak, keponakan-keponakan saya yang tercinta, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Jazakallahu Khairan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya 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 jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “ Rancang Bangun Alat Bantu Pembelajaran Kendali *Steering Wheel* di Sistem *Steer-by-Wire* pada *Front Wheel* Kendaraan”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesainya 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, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Teristimewa untuk kedua orang tua tercinta, ibu saya Ahadina Sugiharti dan ayah saya Siswanto Sriwanto (Alm), atas doa, kasih sayang, dan segala pengorbanan yang tiada ternilai.
2. Kepada keenam kakak saya; Ari Isaq, Dhea Inda, Reno Fajar, Jamal, Rizki Bangun, dan Malida Widyaningsih yang senantiasa memberikan dukungan moril maupun semangat selama perjalanan studi ini.
3. Kepada keponakan-keponakan tercinta; Kayla, Jaris, Adzriel, Danesh, dan Irsyad yang selalu menjadi sumber hiburan dan penyemangat di tengah proses penyusunan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Noval Lilansa dan Ibu Fitria Suryatini selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah dengan sabar memberikan arahan, saran, dan bimbingan yang sangat berarti.
5. Teman-teman seperjuangan sejak masa SMK Israini, Lusi, Niam, Roza, Shaffilah, Sausan, Shena, dan Tiara yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik dan kehidupan penulis.
6. Seluruh jajaran dosen dan staf Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jurusan Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, serta Politeknik Manufaktur Bandung secara institusi, yang telah memberikan ilmu, fasilitas, dan lingkungan akademik yang sangat mendukung selama proses perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan AEB, sahabat seperjuangan sejak awal masa perkuliahan hingga hari ini, yang selalu setia mendampingi dalam suka dan duka.
8. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis 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, Juli 2025

Penulis

ABSTRAK

Sistem *Steer-by-Wire* (SBW) menjadi fokus penelitian menarik di industri otomotif karena menghilangkan koneksi mekanis antara kemudi dan roda kendaraan. Perkembangan teknologi ini mendorong kebutuhan akan alat bantu pembelajaran efektif untuk calon insinyur sesuai level 6 KKNI. Penelitian ini membangun alat bantu pembelajaran SBW berbasis *Hardware-in-the-Loop* (HIL). Sistem ini menggunakan NI MyRIO-1900 sebagai kontroler dan LabVIEW sebagai antarmuka, dengan implementasi pengendali pada *plant* motor umpan balik. Penelitian ini membandingkan dua strategi kendali. Pertama, melalui *tuning* empiris pada kontroler Proporsional (P), diperoleh nilai optimal $K_p = 8$. Konfigurasi ini menghasilkan respons yang cepat dan stabil dengan *overshoot* minimal sebesar 4,2%. Kedua, analisis pada kontroler Proporsional-Derivatif (PD) menunjukkan bahwa dengan nilai $K_p = 4$ dan waktu derivatif $T_d = 0,608$, sistem mampu mencapai respons ideal tanpa *overshoot* (0,0%). Evaluasi aspek pedagogi menggunakan metode EMPI oleh mahasiswa memberikan skor kelayakan sebesar 89%. Responden menilai alat ini efektif dalam memvisualisasikan konsep, mendorong eksperimen, dan menyediakan interaksi yang realistis. Dengan demikian, penelitian ini berhasil menciptakan sebuah alat bantu pembelajaran interaktif yang tidak hanya fungsional secara teknis, tetapi juga efektif dalam mendemonstrasikan perbandingan dan kontrol P dan PD dalam aplikasi mekatronika.

Kata kunci: *Steer-by-Wire*, Alat Bantu Pembelajaran, *Hardware-in-the-Loop* (HIL), Kendali Proporsional- Derivatif, LabVIEW, NI MyRIO-1900.

ABSTRACT

Steer-by-Wire (SBW) systems are becoming an interesting research focus in the automotive industry as they eliminate the mechanical connection between the steering wheel and the vehicle wheels. The development of this technology drives the need for effective learning aids for prospective engineers according to level 6 of KKNI. This research builds a Hardware-in-the-Loop (HIL) based SBW learning tool. The system uses NI MyRIO-1900 as the controller and LabVIEW as the interface, with the implementation of the controller on a feedback motor plant. This research compares two control strategies. First, through empirical tuning of the proportional (P) controller, the optimal value of $K_p = 8$ is obtained. This configuration produces a fast and stable response with minimal overshoot of 4.2%. Secondly, analysis on the Proportional-Derivative (PD) controller showed that with a value of $K_p = 4$ and a derivative time $T_d = 0.608$, the system was able to achieve an ideal response without overshoot (0.0%). Evaluation of pedagogical aspects using the EMPI method by students gave a feasibility score of 89%. Respondents rated the tool as effective in visualizing concepts, encouraging experimentation, and providing realistic interactions. Thus, this research succeeded in creating an interactive learning tool that is not only technically functional, but also effective in demonstrating P and PD comparison and control in mechatronics applications.

Keywords: Steer-by-Wire, Learning Aid, Hardware-in-the-Loop (HIL), Proportional- Derivative Control, LabVIEW, NI MyRIO-1900

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	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xviii
I. BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-4
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 Pemodelan	II-1
II.1.1.1 Pemodelan <i>Steering Wheel</i> dan <i>Front Wheel</i>	II-1
II.1.2 Variabel Rasio Kemudi	II-3
II.1.3 <i>Hardware-in-the-Loop</i> (HIL)	II-4

II.1.4	Pengendali PID.....	II-4
II.1.5	<i>System Type</i>	II-7
II.1.6	<i>Pole-Zero Cancellation</i>	II-10
II.1.7	LabView.....	II-10
II.1.8	Media Pembelajaran.....	II-18
II.2	Tinjauan Alat.....	II-19
II.2.1.	<i>Controller</i> NI MyRio-1900.....	II-19
II.2.2.	Motor DC	II-24
II.2.3.	BTS 7960	II-27
II.2.4.	<i>Rotary Encoder</i>	II-29
II.3	Studi Penelitian Terdahulu	II-31
III.	BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1	Metode Penelitian	III-1
III.2	<i>Requirement List</i>	III-4
III.3	<i>System Design</i>	III-4
III.4	<i>Domain-specific design</i>	III-6
III.4.1	Perancangan Mekanik	III-6
III.4.2	Perancangan Elektrik	III-9
III.4.3	Perancangan Informatik	III-10
III.4.4	Perancangan Sistem Kendali.....	III-12
III.4.4.1	Diagram Blok Sistem Kendali	III-12
III.4.4.2	Perancangan Kontroler PID	III-13
III.4.5	Perancangan Antarmuka	III-15
III.4.6	Perancangan Alat Bantu Ajar.....	III-18
III.5	<i>System Integration</i>	III-19
III.6	<i>Lab-scale Prototype</i>	III-20

III.6.1	Perancangan Analisis Data.....	III-20
III.6.2	Perancangan Pengujian Sensor dan Aktuator	III-21
III.6.3	Perancangan Pengujian Sistem Kendali.....	III-21
III.6.4	Perancangan Pengujian Antarmuka	III-21
III.6.5	Perancangan Pengujian Sebagai Media Pembelajaran.....	III-21
III.6.5.1	Perancangan Pengujian Antarmuka	III-22
III.6.5.2	Perancangan Analisis Data Kuesioner Antarmuka.....	III-24
IV.	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1	Hasil Implementasi	IV-1
IV.1.1	Hasil Implementasi Rancangan Mekanik.....	IV-1
IV.1.2	Hasil Implementasi Rancangan Elektrik.....	IV-3
IV.1.3	Hasil Implementasi Rancangan Antarmuka.....	IV-5
IV.2	Pengujian Sensor dan Aktuator.....	IV-8
IV.2.1	Pengujian Sensor.....	IV-8
IV.2.2	Pengujian Aktuator.....	IV-13
IV.3	Pengujian Kolom <i>Steering</i>	IV-17
IV.4	Pengujian Sistem Kendali.....	IV-19
IV.4.1	Simulasi Sistem <i>Steering Wheel</i> dan <i>Front Wheel</i>	IV-19
IV.4.2	Pemodelan Sistem <i>Feedback</i> Motor DC pada Kolom Setir.....	IV-22
IV.4.3	Tuning Kendali Proposional	IV-23
IV.4.4	Tuning Kendali Proposional-Derivatif.....	IV-26
IV.4.5	Pengujian <i>Haptic Feeling Steering Wheel</i>	IV-28
IV.5	Pengujian Antarmuka	IV-30
IV.6	Pengujian Aspek Pedagogi Antarmuka	IV-33
IV.6.1	Hasil Kuesioner dari Setiap Sub-Tema.....	IV-33
IV.6.2	Hasil Keseluruhan	IV-36

V. BAB V PENUTUP.....	V-1
V.1 Kesimpulan.....	V-1
V.2 Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA	V-4
LAMPIRAN.....	xx

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Efek pengendalian PID pada respon sistem <i>loop</i> tertutup [20].....	II-6
Tabel II.2 Tipe-tipe Pengkabelan LabView[31]	II-14
Tabel II.3 Pin BTS7960	II-27
Tabel II.4 Penelitian terdahulu.....	II-31
Tabel III.1 Rincian pengujian sistem	III-20
Tabel IV.1 Pengujian <i>encoder</i> berdasarkan sudut pembacaan.....	IV-9
Tabel IV.2 Pengujian <i>encoder</i> berdasarkan pulsa.....	IV-10
Tabel IV.3 Pengujian tegangan keluaran pada driver BTS7960.....	IV-14
Tabel IV.4 Pengujian RPM Motor DC	IV-15
Tabel IV.5 Pengujian konstanta waktu pada motor DC.....	IV-17
Tabel IV.6 Pengujian linearitas kolom setir.....	IV-18
Tabel IV.7 <i>Tuning</i> Awal	IV-25
Tabel IV.8 <i>Tuning</i> Penyempurnaan/Optimisasi	IV-26
Tabel IV.9 <i>Tuning</i> Kp pada $T_d=0,608$	IV-27
Tabel IV.10 Hasil Kuisisioner kategori Visual dan Fungsional Antarmuka	IV-33
Tabel IV.11 Hasil Kuisisioner kategori Struktur Pengajaran pada Antarmuka..	IV-34
Tabel IV.12 Hasil Kuisisioner kategori Ergonomi Antarmuka	IV-35
Tabel IV.13 Hasil Kuisisioner Penilaian Antarmuka	IV-36

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Diagram sistem <i>steering wheel</i>	II-2
Gambar II.2 Diagram sistem <i>front wheel</i>	II-2
Gambar II.3 Sistem HIL.....	II-4
Gambar II.4 Diagram Blok Kontrol PID	II-5
Gambar II.5 Grafik Step Respon Sistem.....	II-7
Gambar II.6 Gambaran <i>transfer function</i> pada diagram blok	II-7
Gambar II.7 Grafik respons <i>system type 0</i>	II-8
Gambar II.8 Grafik respons <i>system type 1</i>	II-8
Gambar II.9 Grafik respons <i>system type 2</i>	II-9
Gambar II.10 <i>error steady-state</i> bervariasi menurut <i>system type</i>	II-9
Gambar II.11 <i>Front panel</i>	II-12
Gambar II.12 <i>Block diagram</i>	II-12
Gambar II.13 <i>Controls palette</i>	II-13
Gambar II.14 <i>Functions palette</i>	II-13
Gambar II.15 <i>Control and simulation loop</i>	II-14
Gambar II.16 Perangkat <i>Toolkit Express VI</i>	II-15
Gambar II.17 <i>Control Design and Simulation Toolkit</i> LabVIEW	II-16
Gambar II.18 <i>PID Palette</i> [.....	II-16
Gambar II.19 <i>Numeric palette</i>	II-17
Gambar II.20 Contoh <i>Front Panel</i>	II-17
Gambar II.21 Dimensi dan bagian <i>controller NI MyRio-1900</i>	II-20
Gambar II.22 Diagram Blok Perangkat Keras NI myRIO-1900.....	II-21
Gambar II.23 Contoh koneksi <i>single-ended</i> dan <i>differential</i>	II-23
Gambar II.24 Konstruksi motor DC	II-24
Gambar II.25 Sistem motor DC	II-24
Gambar II.26 Kurva torsi/kecepatan motor DC	II-26
Gambar II.27 <i>BTS7960 H-Bridge Motor Driver</i>	II-27
Gambar II.28 Bentuk fisik <i>rotary encoder</i>	II-29
Gambar II.29 Struktur sederhana <i>encoder</i> optik.....	II-29
Gambar II.30 <i>Output</i> kanal A, B, Z <i>encoder</i>	II-30

Gambar III.1 Metodologi Penelitian VDI2206	III-1
Gambar III.2 Alur pengerjaan sistem.....	III-2
Gambar III.3 <i>Overall function</i> menurut VDI 2206	III-4
Gambar III.4 Gambaran umum alat bantu pembelajaran kendali <i>steering wheel</i> di sistem <i>steer-by-wire</i>	III-5
Gambar III.5 Gambaran Umum Sistem <i>Steering Wheel SBW</i>	III-6
Gambar III.6 Alur diagram perancangan mekanik	III-6
Gambar III.7 Gambaran visualisasi <i>steering wheel</i>	III-7
Gambar III.8 Desain panel <i>controller</i>	III-8
Gambar III.9 Rancangan elektrik pada sistem akuisisi data	III-9
Gambar III.10 Port pada MyRIO-1900.....	III-10
Gambar III.11 Diagram alir akuisisi data HIL	III-11
Gambar III.12 Blok diagram sistem <i>steering wheel</i>	III-12
Gambar III.13 Rancangan desain antarmuka	III-16
Gambar III.14 Integrasi sistem HIL <i>steering wheel</i>	III-19
Gambar IV.1 Tampak <i>plant</i> sistem <i>steering wheel</i>	IV-1
Gambar IV.2 Panel <i>controller</i> NI myRIO-1900	IV-2
Gambar IV.3 Hasil implementasi rancangan elektrik	IV-3
Gambar IV.4 <i>Tab</i> pengenalan materi mengenai <i>Steer By Wire</i>	IV-5
Gambar IV.5 Halaman simulasi sistem SBW	IV-6
Gambar IV.6 Halaman Implementasi <i>Steering Wheel</i>	IV-7
Gambar IV.7 Halaman Implementasi <i>Front Wheel</i>	IV-8
Gambar IV.8 Regresi Sudut <i>Encoder</i>	IV-10
Gambar IV.9 Regresi Pulsa Pembacaan <i>Encoder</i>	IV-12
Gambar IV.10 Arah putaran <i>encoder</i> saat pengambilan data adalah searah jarum jam (CW).....	IV-13
Gambar IV.11 Arah putaran <i>encoder</i> saat pengambilan data adalah tidak searah jarum jam (CCW).....	IV-13
Gambar IV.12 Regresi Tegangan Keluaran Driver BTS7960	IV-14
Gambar IV.13 Regresi RPM Motor DC	IV-16
Gambar IV.14 Regresi $\Delta\omega$ Motor DC	IV-18
Gambar IV.15 Sub-system <i>Steering Module</i>	IV-19

Gambar IV.16 Sub-system <i>Frontwheel Module</i>	IV-20
Gambar IV.17 Program <i>Model-In-The-Loop</i> sistem <i>steer by wire</i>	IV-20
Gambar IV.18 Respon sistem <i>Model-In-The-Loop</i> sistem <i>steer by wire</i>	IV-21
Gambar IV.19 Diagram blok sistem kendali motor DC	IV-22
Gambar IV.20 Diagram blok <i>feedback control system</i> motor DC	IV-23
Gambar IV.21 Simulasi Pengujian <i>Haptic Feeling</i>	IV-28
Gambar IV.22 Respon <i>haptic</i> yang dihasilkan oleh $K_p=8$	IV-29
Gambar IV.23 Respon <i>haptic</i> yang dihasilkan oleh $K_p=8$ dan $T_d=0,608$	IV-29
Gambar IV.24 Tampilan <i>front panel</i> saat simulasi	IV-30
Gambar IV.25 Tampilan <i>front panel HIL steering</i>	IV-31
Gambar IV.26 Tampilan <i>front panel HIL front wheel</i>	IV-32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	xx
Lampiran 2	xxi
Lampiran 3	xxiv

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Daftar Simbol:

- J_h : Momen inersia dari sistem roda kemudi
- $\ddot{\theta}_h$: Percepatan sudut kemudi
- B_h : Koefisien gesekan viskos yang berhubungan dengan sudut kemudi
- $\dot{\theta}_h$: Laju perubahan sudut kemudi (derivatif dari sudut kemudi)
- C_h : Kekakuan torsi kolom kemudi
- θ_h : Sudut rotasi roda kemudi
- T_h : Torsi masukan dari pengemudi
- T_f : Torsi umpan balik yang diberikan oleh sistem untuk mensimulasikan gaya dari jalan
- C_f : Koefisien kekakuan kemudi ban depan, yang terkait erat dengan gesekan antara ban dan jalan
- l_c : Mekanis trail, yaitu jarak antara pusat ban dan titik di tanah sekitar pivot ban yang dihasilkan akibat sudut caster roda
- l_p : Trail pneumatik, yaitu jarak dari pusat ban ke titik perputaran ban yang disebabkan oleh gaya pada ban
- β : Sudut slip, yang mengindikasikan seberapa banyak ban meluncur saat berbelok
- γ : Parameter dinamis terkait kecepatan kendaraan
- l_f : Jarak dari pusat ban depan ke titik pusat massa kendaraan (*wheelbase*)
- v : Kecepatan kendaraan
- $G(s)$: Fungsi Alih (*Transfer Function*)
- $e(t)$: sinyal *error*
- $u(t)$: *output controller*
- K_d : *Gain Derivatif (Derivative Gain)*
- K_i : *Gain Integral (Integral Gain)*
- K_p : *Gain Proporsional (Proportional Gain)*
- T_d : Waktu Derivatif (*Derivative Time*)
- T_i : Waktu Integral (*Integral Time*)
- T_p : Waktu Puncak (*Peak Time*)

T_r : Waktu Naik (*Rise Time*)
 T_s : Waktu Penetapan (*Settling Time*)
 R_a : Resistansi *armature*
 K_t : Konstanta torsi motor
 J_h : Momen inersia beban
 K_e : Konstanta GGL balik (*back-EMF*)
 K_{pl} : Konstanta rasio *pulley*
 ω_n : Frekuensi Natural Tidak Teredam (*Undamped Natural Frequency*)
 ξ : Rasio Redaman (*Damping Ratio*)
 N : Jumlah pulsa yang terdeteksi
 PPR : Jumlah pulsa per putaran (*pulses per revolution*)
 ω : Kecepatan motor dalam RPM
 p : Jumlah pulsa yang dihasilkan oleh *encoder*
 t : Waktu pengukuran dalam detik
 $\sum_{i=1}^n Skor_i$: Jumlah total skor dari seluruh responden untuk satu pertanyaan.

Daftar Singkatan:

HIL : *Hardware-In-The-Loop*
 PID : *Proportional-Integral-Derivative*
 VI : *Virtual Instruments*
 SBW : *Steer-by-Wire*
 VSBW: *Vehicle Steer-by-Wire*
 VDI : *Verein Deutscher Ingenieure*
 DC : *Direct Current*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi otomotif saat ini semakin pesat, salah satunya adalah penerapan sistem *Steer-by-Wire*. Sistem *steer-by-wire* (SBW) telah menjadi salah satu subjek penelitian yang menarik karena karakteristik utamanya yaitu menghilangkan seluruh komponen mekanis (poros kemudi, kolom kemudi, dll.)[1]. Dalam sistem SBW, sinyal mengemudi yang diberikan oleh pengemudi disalurkan ke roda melalui kabel listrik, sedangkan sinyal ini ditransmisikan melalui hubungan mekanis dan, atau hidrolis pada sistem kemudi konvensional[2]. Adopsi teknologi ini menunjukkan tren yang jelas di industri. Produsen mobil listrik terkemuka, yaitu Tesla asal Amerika, telah menggunakan teknologi *steer-by-wire* pada model truk pikap terbarunya yang bernama Tesla Cybertruck [3]. Selain itu, pengembangan dan perencanaan penerapan teknologi *steer-by-wire* pada model kendaraan oleh beberapa produsen mobil lainnya, seperti Toyota dan Honda, sedang dilakukan. Toyota telah mengumumkan rencana untuk memproduksi teknologi inovatif *steer-by-wire* pada akhir tahun 2024[4]. Teknologi ini sebelumnya telah diperkenalkan pada mobil listrik Lexus RZ[4]. Begitu pula dengan Honda, produsen mobil dari Jepang ini juga akan meluncurkan sedan listrik bernama Honda Seri 0 yang akan dilengkapi dengan teknologi *steer-by-wire* [5].

Dalam implementasi SBW, *steering wheel* dalam sistem *steer-by-wire* memiliki peran yang sangat krusial karena berfungsi sebagai input utama bagi pengemudi yang mengendalikan aktuator roda. Roda kendaraan harus mematuhi instruksi dari pengemudi melalui kemudi (*steering wheel*), serta kemungkinan instruksi dari sistem kontrol kendaraan sesuai dengan kebutuhan dinamika kendaraan[6]. Ada beberapa persyaratan fungsi kemudi utama untuk sistem *steer-by-wire*, yaitu kontrol arah dan sinkronisasi roda, rasa kemudi variabel yang dapat disesuaikan, kemampuan pengembalian roda kemudi yang dapat disesuaikan, serta rasio kemudi variabel[6]. Pada tahun 2018, M. Zaidi, dkk., melakukan penelitian mengenai

steering wheel returnability, kontrol arah, dan sinkronisasi roda pada sistem *Vehicle Steer-By-Wire* (VSBW) dengan menggunakan kontrol PID dan logika *Fuzzy* yang diimplementasikan dalam perangkat lunak LabVIEW untuk mengevaluasi kinerja skema kontrol[7]. Berbagai penelitian pengembangan sistem kendali pada VSBW telah banyak dilakukan, seperti pada penelitian [1],[2],[6].

Seiring dengan terus berkembangnya aplikasi kontrol yang lebih canggih dalam produk dan proses manufaktur, para insinyur yang merancang, mengembangkan, dan membangun sistem ini menghadapi tantangan besar dalam peran para insinyur[8]. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam dan kemampuan untuk menerapkan teori sistem kontrol menjadi sangat penting bagi para insinyur[8]. Sebagai profesional yang bertanggung jawab menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memecahkan masalah dan meningkatkan kualitas hidup, insinyur dituntut untuk terus beradaptasi dengan perkembangan teknologi[9]. Salah satu jalur untuk menjadi insinyur kompeten adalah melalui program pendidikan Sarjana Terapan bidang teknik[10]. Lulusan program ini diakui memiliki kompetensi pada level 6 Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia dan diharapkan dapat mengaplikasikan pengetahuan serta keterampilan dalam bidang keahlian tertentu[11]. Dengan demikian, peran insinyur semakin vital dalam menghadapi perkembangan teknologi dan tuntutan industri yang terus berubah[11].

Menyadari kebutuhan ini, Politeknik Manufaktur Bandung, melalui program studi Teknologi Rekayasa Mekanika dalam Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekanika, berkomitmen untuk menerapkan sistem kendali dalam proses pembelajarannya. Pembelajaran ini mengintegrasikan tiga disiplin ilmu: rekayasa mekanik, teknologi informasi, dan sistem kendali[12]. Fokus pada bidang sistem kendali ini mengharuskan mahasiswa untuk menguasai kompetensi baik secara teori maupun praktik dalam pemodelan dan pengendalian suatu sistem[12]. Untuk memenuhi kebutuhan penguasaan sistem kendali di industri, yang tercermin dalam kompetensi pembelajaran, diperlukan alat peraga pembelajaran yang memungkinkan mahasiswa memahami teori pemodelan dan simulasi sistem kendali secara langsung, bukan hanya melalui contoh dari buku teks. Berdasarkan hasil

wawancara yang terlampir pada lampiran 1, disimpulkan bahwa terdapat kesenjangan teori-praktik yang signifikan dalam pembelajaran mekatronika, sehingga pengembangan alat bantu ajar interaktif menjadi kebutuhan mendesak untuk memperdalam pemahaman dan meningkatkan kompetensi lulusan agar siap menghadapi tantangan industri.

Teknologi *steer-by-wire* memiliki hubungan yang erat dengan pelajaran penunjang bagi mahasiswa Sarjana Terapan Mekatronika, karena mengintegrasikan berbagai konsep dari disiplin ilmu Mekatronika. Pemahaman tentang *steer-by-wire* tidak hanya memperkaya pengetahuan teknis mahasiswa tetapi juga mempersiapkan mahasiswa untuk menghadapi tantangan dalam dunia kerja yang semakin mengandalkan teknologi canggih. Oleh karena itu, dibutuhkan alat bantu pembelajaran *steer-by-wire* terutama pada bagian *steering wheel* untuk mendukung proses pembelajaran dan memberikan pengalaman praktis kepada mahasiswa dalam memahami dan menerapkan teknologi ini secara efektif. Meskipun teknologi *steer-by-wire* terus berkembang pesat dan direncanakan untuk diterapkan oleh beberapa produsen mobil terkemuka, terdapat kekosongan signifikan dalam penyediaan alat bantu pembelajaran yang relevan dengan teknologi ini di pasar pendidikan. Saat ini, merek penyedia alat bantu pembelajaran buatan lokal, seperti Pudak dan KnH, belum menyediakan produk alat bantu pembelajaran *steer-by-wire*[13]. Bahkan, merek penyedia alat bantu pembelajaran internasional seperti *Lucas Nülle* juga belum memiliki produk tersebut[14].

Berdasarkan uraian diatas, dan dengan adanya kekosongan produk alat bantu pembelajaran kendali *steering wheel* pada sistem *steer-by-wire*, dengan demikian diusulkan untuk dijadikan Tugas Akhir Rancang Bangun Alat Bantu Pembelajaran Kendali *Steering Wheel* di Sistem *steer-by-wire* pada *Front Wheel* Kendaraan. Diharapkan dapat mengisi kesenjangan dalam penyediaan alat bantu pembelajaran yang relevan, meningkatkan pemahaman mahasiswa mengenai kinerja sistem kendali dan mengasah kompetensi mereka dalam menganalisis respons sistem, baik dari segi teori maupun praktik.

I.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini:

- 1) Bagaimana merancang alat bantu pembelajaran kendali *steering wheel* di Sistem *steer-by-wire* agar dapat mudah dipahami mahasiswa tingkat Sarjana Terapan?
- 2) Bagaimana membangun sistem kendali dengan respon cepat pada kendali *steering wheel* di Sistem *steer-by-wire*?

I.3 Batasan Masalah

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

- 1) Alat bantu pembelajaran yang dibuat hanya berfokus pada kendali *steering wheel* di Sistem *steer-by-wire*, dengan ukuran yang disesuaikan untuk digunakan di laboratorium.
- 2) Perangkat keras untuk akuisisi data sistem yang digunakan pada sistem kendali *steering wheel* di Sistem *steer-by-wire* ialah NI-MyRIO 1900.
- 3) Kendali *plant* yang digunakan ialah sistem kontrol PID.
- 4) Antarmuka yang digunakan berbasis komputer dengan aplikasi pemrograman grafis LabVIEW sebagai perangkat lunak *virtual instrument*.
- 5) Pengujian alat bantu pembelajaran akan dilakukan pada mahasiswa tingkat Sarjana Terapan Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika POLMAN Bandung.
- 6) Penentuan materi untuk sistem mekatronika dasar pada alat bantu pembelajaran dilakukan berdasarkan penilaian dari seorang ahli (*expert judgement*), yaitu salah satu dosen pengampu Mata Kuliah Sistem Mekatronika di POLMAN Bandung.
- 7) Sistem *steer-by-wire* yang direpresentasikan pada alat bantu ini adalah model skala/prototipe dan bukan replika sistem *steer-by-wire* kendaraan komersial sepenuhnya.
- 8) Pembahasan dinamika kendaraan secara keseluruhan tidak menjadi fokus utama penelitian ini, melainkan fokus pada dinamika dan kendali mekanisme *steering wheel* itu sendiri.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah alat bantu pembelajaran yang menunjang teori pemodelan dan sistem kendali dengan membuat *teaching aid* mengenai kendali *steering wheel* di sistem *steer-by-wire* pada *front wheel* kendaraan menggunakan NI MyRIO-1900 sebagai kontroler yang diintegrasikan dengan aplikasi pemrograman grafis yakni LabVIEW sebagai antarmuka.

Mengacu pada rumusan masalah dan tujuan yang telah disebutkan, manfaat penelitian ini untuk membantu mahasiswa/i Politeknik Manufaktur Bandung dalam memahami/memvisualisasi konsep dalam mata kuliah sistem mekatronika. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mendukung pengajar dalam menyampaikan materi dengan menggunakan alat bantu pembelajaran (*teaching aid*) yang dapat mensimulasikan proses pembelajaran secara lebih efektif agar mahasiswa lulusan Sarjana Terapan khususnya Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika dapat menguasai teknologi pengendalian yang saat ini berkembang.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal 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 PENYELESAIAN MASALAH, 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.