



# IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI *CASCADE* PID UNTUK STABILISASI PADA *CART* *INVERTED PENDULUM*

Ilham Fauzi

21/482351/SV/19927

## INTISARI

Kestabilan merupakan tantangan fundamental dalam pengembangan sistem robotika modern. *Cart Inverted Pendulum* (CIP) menjadi platform studi klasik untuk sistem kendali karena sifatnya yang tidak stabil dan *underactuated*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, merealisasikan, dan mengimplementasikan sistem kendali yang mampu menstabilkan pendulum pada sudut nol derajat terhadap vertikal. Fokus penelitian mencakup pemodelan matematis, integrasi sistem mekanik dan elektronik, serta implementasi algoritma kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID).

Tahapan penelitian ini meliputi proses perancangan dan realisasi sistem secara menyeluruh. Sistem mekanik didesain menggunakan Autodesk Inventor, sementara sistem elektronik didesain menggunakan KiCad. Akurasi dijaga dengan menurunkan model matematis sistem dan memvalidasikannya terhadap model hasil estimasi dari data eksperimental. Algoritma kendali PID dibangun dengan arsitektur *cascade* yaitu *Outer loop* bertugas menstabilkan sudut dengan *output* target kecepatan motor dan *inner loop* bertugas mengontrol kecepatan motor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat keras yang dirancang berfungsi dengan baik dan model matematis yang divalidasi memiliki tingkat kecocokan 80%. Implementasi kontroler PID *cascade* pada perangkat keras berhasil menstabilkan pendulum pada posisi nol derajat terhadap vertikal. Kombinasi parameter kendali PID terbaik yang memberikan respons paling optimal yaitu  $K_p = 84,4$ ,  $K_i = 16,4$ , dan  $K_d = 3,1$ . Penelitian ini berhasil mendemonstrasikan proses perancangan, pemodelan, hingga implementasi kendali yang efektif untuk sebuah sistem dinamis yang kompleks.

Kata kunci: *Cart Inverted Pendulum*, Fungsi Alih, Kendali Cascade PID, Sistem *Underactuated*, Teensy 4.0.

# **IMPLEMENTATION OF CASCADE PID CONTROL SYSTEM FOR STABILIZATION ON CART INVERTED PENDULUM**

Ilham Fauzi  
21/482351/SV/19927

## **ABSTRACT**

*Stability is a fundamental challenge in the development of modern robotic systems. The Cart Inverted Pendulum (CIP) serves as a classic study platform for control systems due to its inherently unstable and underactuated nature. This research aims to design, realize, and implement a control system capable of stabilizing the pendulum at a zero-degree angle with respect to the vertical. The study focuses on mathematical modeling, mechanical and electronic system integration, and the implementation of a Proportional-Integral-Derivative (PID) control algorithm.*

*The research stages involved a comprehensive design and realization process. The mechanical system was designed using Autodesk Inventor, while the electronic system was designed using KiCad. Accuracy was ensured by deriving the system's mathematical model and validating it against an estimated model obtained from experimental data. The PID control algorithm was implemented using a cascade architecture, where an outer loop stabilizes the angle to generate a target motor speed, and an inner loop controls the motor speed to reach that target.*

*Test results indicate that the designed hardware functions correctly and the validated mathematical model achieved an 80% fit with the real data. The implementation of the cascade PID controller on the hardware successfully stabilized the pendulum at its vertical position. The optimal combination of PID control parameters was determined to be  $K_p = 84,4$ ,  $K_i = 16,4$ , and  $K_d = 3,1$ . This research successfully demonstrates a complete workflow of design, modeling, and effective control implementation for a complex dynamic system.*

*Keywords: Cart Inverted Pendulum, Cascade PID Control, Teensy 4.0, Transfer Function, Underactuated System.*