

Implementasi Sistem kendali PID pada *Hyper Redundant Manipulator Robot* berbasis *Oblique Swivel Joint Mechanism* sebagai *Rotary Steerable System* untuk Pengeboran Terarah

Oleh :

Muhammad Raihan Shadiq

21/479382/SV/19493

ABSTRAK

Presisi dalam proses pengeboran terarah merupakan syarat fundamental untuk menjamin efisiensi dan keberhasilan kegiatan eksplorasi serta produksi hidrokarbon. Salah satu komponen paling krusial yang memungkinkan tercapainya presisi tersebut adalah *Rotary Steerable System* (RSS), yaitu sistem kendali arah pengeboran secara *real-time* tanpa perlu menghentikan proses pengeboran. Performa dan akurasi sistem RSS sangat bergantung pada efektivitas sistem kendali posisi dalam menjaga orientasi mata bor agar tetap berada pada lintasan yang diinginkan di bawah permukaan bumi yang bersifat dinamis dan nonlinier.

Penelitian ini menyajikan perancangan, implementasi, serta analisis komprehensif terhadap sistem kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) yang diintegrasikan pada sebuah prototipe manipulator empat derajat kebebasan (4-DOF) dengan mekanisme *Oblique Swivel Joint Mechanism* (OSJM). Sistem kendali ini diimplementasikan menggunakan platform mikrokontroler Teensy 3.6 yang mampu melakukan pemrosesan sinyal secara *real-time* dengan umpan balik posisi dari *rotary encoder* untuk memastikan akurasi pergerakan setiap ruas manipulator.

Penalaan parameter PID dilakukan secara sistematis dan iteratif guna memperoleh karakteristik respon transien yang optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi parameter terbaik dengan nilai $K_p = 40,2$, $K_i = 2,2$, dan $K_d = 10,5$ menghasilkan performa sistem dengan *overshoot* sangat kecil sebesar 0,09%, *settling time* sebesar 0 s, serta *steady-state error* sebesar 0,69°. Hasil tersebut membuktikan bahwa sistem kendali PID yang diimplementasikan pada mekanisme OSJM mampu mencapai kestabilan dan ketepatan posisi secara *real-time* tanpa mengalami osilasi berlebih. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan kendali PID memiliki potensi kuat untuk diterapkan pada sistem pengendalian arah pengeboran berbasis RSS di masa mendatang.

Kata kunci: *Rotary Steerable System* (RSS), *Oblique Swivel Joint*, Pengeboran Terarah, PID.

Implementation of a PID Control System for a Hyper-Redundant Manipulator Robot Based on the Oblique Swivel Joint Mechanism as a Rotary Steerable System for Directional Drilling

by:

Muhammad Raihan Shadiq

21/479382/SV/19493

ABSTRACT

Precision in directional drilling is a fundamental requirement to ensure efficiency and success in hydrocarbon exploration and production. One of the most crucial components that enables such precision is the Rotary Steerable System (RSS), a real-time directional control system that allows continuous drilling without interruption. The performance and accuracy of the RSS depend heavily on the effectiveness of its position control system in maintaining the drill bit orientation precisely along the desired trajectory under dynamic and nonlinear subsurface conditions.

This research presents the design, implementation, and comprehensive analysis of a Proportional-Integral-Derivative (PID) control system integrated into a four-degree-of-freedom (4-DOF) manipulator prototype with an Oblique Swivel Joint Mechanism (OSJM). The control system was implemented on a Teensy 3.6 microcontroller platform capable of processing signals in real time, using feedback from rotary encoders to ensure accurate joint positioning.

PID parameter tuning was conducted systematically and iteratively to achieve optimal transient response characteristics. The experimental results showed that the best configuration with parameters $K_p = 40.2$, $K_i = 2.2$, and $K_d = 10.5$ yielded a highly stable system performance with a very small overshoot of 0.09%, zero settling time, and a steady-state error of 0.69° . These findings demonstrate that the implemented PID control system under the OSJM structure can maintain high accuracy and stability in real time without excessive oscillation. This result highlights the strong potential of PID-based control strategies for future applications in RSS directional drilling systems.

Key words: Rotary Steerable System (RSS), Oblique Swivel Joint, Directional Drilling, PID.