

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memodelkan dan menganalisis sistem kendali *heading* pada *Unmanned Underwater Vehicle* (UUV) berbasis PID menggunakan perangkat lunak OpenModelica. Dalam simulasi sistem kendali, diperoleh bahwa sistem PID dengan konfigurasi *closed loop multi sensor* menunjukkan kinerja terbaik dalam mengendalikan sudut *heading* UUV. Dengan *rise time* sebesar 5,4 detik dan *settling time* 10,8 detik, serta *steady state error* yang sangat kecil yaitu 0,0000156°, sistem ini dapat mengatasi gangguan eksternal dan menjaga presisi arah UUV dengan sangat baik. Evaluasi kinerja berdasarkan parameter sudut rudder menunjukkan bahwa konfigurasi ini mampu memberikan respons yang stabil dan efisien, lebih unggul dibandingkan dengan model *open loop* dan *closed loop* yang masing-masing menunjukkan waktu respons yang lebih lama dan kestabilan yang lebih rendah.

Perbandingan antara model *open loop*, *closed loop*, dan *closed loop multi sensor* juga mengungkapkan bahwa sistem *open loop* tidak mampu mempertahankan kestabilan arah dengan baik, terlihat dari *rise time* yang sangat panjang yaitu 53 detik dan *settling time* 122 detik. Sistem *closed loop* menunjukkan perbaikan signifikan dalam stabilitas dengan *rise time* 2,5 detik dan *settling time* 4 detik, meskipun masih mengalami sedikit *overshoot* sebesar 30,51°. Namun, sistem *closed loop multi sensor* berhasil menunjukkan performa terbaik dengan waktu *settling* yang lebih singkat yaitu 10,8 detik, tanpa *overshoot* yang signifikan, serta *steady state error* yang sangat kecil, yaitu 0,0000156%. Sistem ini mampu mempertahankan arah dengan sangat presisi, bahkan dalam skenario uji manuver zig-zag, sehingga dapat

disimpulkan bahwa *closed loop multi sensor* adalah pendekatan yang paling efektif dalam menjaga kestabilan arah UUV.

5.2 Saran

Disarankan agar pengembangan dilakukan pada model sistem kendali UUV secara keseluruhan dengan mempertimbangkan enam derajat kebebasan (6-DOF), termasuk gerak *pitch* dan *roll*, guna meningkatkan realisme dan akurasi simulasi. Selain itu, metode kendali yang lebih adaptif seperti kontrol fuzzy, kontrol adaptif, atau bahkan berbasis kecerdasan buatan (AI) dapat dieksplorasi untuk meningkatkan fleksibilitas sistem terhadap perubahan lingkungan laut yang kompleks dan tidak terduga.

Validasi hasil simulasi menggunakan prototipe UUV skala laboratorium atau melalui pendekatan *Hardware-in-the-Loop* (HIL) juga penting dilakukan agar sistem dapat diuji secara nyata. Selanjutnya, integrasi sensor tambahan seperti DVL, IMU, dan sonar direkomendasikan untuk meningkatkan kemampuan navigasi dan ketahanan sistem dalam operasi di laut. Terakhir, optimalisasi konsumsi energi dan pengaruhnya terhadap performa manuver perlu diperhatikan agar sistem kendali tidak hanya presisi, namun juga efisien untuk operasi jangka panjang.