

BAB 5 **KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terkait rancang bangun dan implementasi algoritme kendali berbasis PID dan kinematika pada robot otomotif *X-Drive*, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem kendali pergerakan robot mampu mengontrol kecepatan gerak linear maupun angular agar robot dapat mencapai target koordinat yang ditentukan dengan menerapkan algoritma PID pada sistem kendali kecepatan maupun posisi robot. Algoritma ini memastikan bahwa kecepatan setiap roda dikontrol dengan baik agar menghasilkan pergerakan yang sesuai dengan model kinematika robot *X-Drive*. Implementasi PID memungkinkan robot untuk mencapai target posisi dan orientasi yang telah ditentukan dengan respons sistem yang stabil, tanpa osilasi berlebih, dan dengan error minimum.
2. Variasi konstanta PID memiliki pengaruh signifikan terhadap respons sistem kendali kecepatan. Dari hasil pengujian tuning PID, ditemukan bahwa dengan $K_p = 0.6$, $K_i = 12$, dan $K_d = 0.008$, sistem mampu mencapai kecepatan yang diinginkan dengan settling time rata-rata sebanyak 63 ms, tanpa *overshoot*, dan *steady-state error* yang terendah dari 3 konstanta lain yakni (0.0069 m/s). Tanpa penggunaan konstanta integral, sistem tidak mampu mencapai setpoint kecepatan yang ditentukan, sementara penggunaan konstanta derivatif yang terlalu besar menyebabkan osilasi yang tidak terkendali. Oleh karena itu, tuning yang optimal diperlukan untuk memastikan sistem kendali bekerja dengan stabil dalam berbagai kondisi operasional.

3. Variasi kecepatan maksimal robot berpengaruh terhadap akurasi pergerakan.

Pengujian menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah (0.4 m/s), RMSE terkecil diperoleh sebesar 0.2156 sedangkan pada kecepatan tinggi (1.0 m/s), RMSE meningkat menjadi 0.3220 akibat efek inersia dan slip roda. *Lateral deviation* meningkat dari 0.1497 m pada kecepatan rendah menjadi 0.1825 m pada kecepatan tinggi. Namun, untuk lintasan kompleks seperti pergerakan serong atau kombinasi translasi dan rotasi, kecepatan tinggi justru menghasilkan kestabilan heading yang lebih baik. Dengan demikian, terdapat *trade-off* antara kecepatan, stabilitas, dan akurasi gerak, yang harus diperhitungkan dalam perencanaan navigasi robot.

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali berbasis PID telah berfungsi secara efektif, dengan tuning parameter yang tepat mampu membuat pergerakan robot yang stabil. Namun, kecepatan gerak memiliki dampak yang bervariasi tergantung pada jenis lintasan, yaitu kecepatan tinggi lebih cocok untuk lintasan kompleks, sedangkan kecepatan rendah lebih akurat pada lintasan lurus.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan analisis penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Penyempurnaan Algoritma Kendali: Untuk meningkatkan performa sistem, disarankan untuk mengembangkan metode tuning PID yang lebih optimal, seperti metode Ziegler-Nichols.
2. Melakukan analisis lebih mendalam terhadap dinamika robot dengan menganalisis keterlibatan gaya terhadap pergerakan, termasuk pengaruh

distribusi berat dan respons motor terhadap beban dinamis, guna memastikan distribusi daya yang lebih seimbang pada lintasan lateral maupun diagonal.

3. Pengujian tambahan pada berbagai permukaan dan kondisi lingkungan, seperti lantai dengan tingkat friksi yang berbeda, dapat memberikan data yang lebih lengkap terkait kekokohan sistem kendali terhadap slip roda dan gangguan eksternal.

Dengan implementasi saran-saran di atas, diharapkan pengembangan lebih lanjut dapat meningkatkan performa robot otonom *X-Drive* baik dari segi akurasi, stabilitas, maupun keandalannya dalam berbagai skenario operasi.

