

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem AGV beroda *mecanum* dengan kendali Logika *Fuzzy* Mamdani dan PID berbasis sensor *load cell* dan IMU MPU6050, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem AGV adaptif berhasil dirancang dan dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 S3 WROOM 1 N16R8 sebagai pemroses utama. Sistem mengintegrasikan empat *load cell* dengan modul HX711, IMU MPU6050, *encoder* motor, penggerak motor BTS7960 melalui PCA9685, dan antarmuka pemantauan berbasis *web server*. Pengujian gerak menunjukkan bahwa tujuh dari delapan arah gerak roda *mecanum* dapat dilaksanakan sesuai perintah. Gerakan geser kiri belum optimal karena terdapat selisih kecepatan sebesar 3 RPM antara roda ketiga dan keempat sehingga masih memerlukan kalibrasi.
2. Sensor *load cell* dan IMU MPU6050 berhasil diintegrasikan sebagai masukan sistem kendali. Pengujian penimbangan menghasilkan akurasi setiap *load cell* antara 99,51% hingga 99,95%, sedangkan pengujian keseluruhan *platform* menghasilkan rata-rata akurasi 99,70%, galat 0,30%, dan linearitas R^2 sebesar 0,99997. Pengujian MPU6050 menghasilkan akurasi *roll* 97,75%, *pitch* 99,02%, dan *yaw* 99,63%. Kalibrasi juga mampu menekan penyimpangan *yaw* menjadi $-0,02^\circ$ hingga $0,10^\circ$ selama 200 detik, sehingga data berat dan kemiringan dapat digunakan sebagai parameter sistem kendali AGV.
3. Logika *fuzzy* Mamdani berhasil diterapkan untuk menentukan *setpoint* RPM secara adaptif berdasarkan berat muatan dan sudut kemiringan. Pengujian terhadap sembilan kombinasi masukan menunjukkan bahwa sistem mampu memilih aturan Cepat, Sedang, atau Lambat sesuai kondisi yang terdeteksi, dengan RPM aktual mendekati hasil perhitungan teoretis. Kendali PID dengan parameter $K_p = 1,20$, $K_i = 0,06$, dan $K_d = 0,05$ berhasil menjaga kecepatan

motor pada *setpoint* 50 RPM dengan *rise time* 1,676 s (1.676 ms), *overshoot* 3,27%, *settling time* 17,793 s (17.793 ms), dan *steady state error* 0,015%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem AGV ini ke depannya adalah sebagai berikut.

1. Fitur antarmuka web dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan visualisasi *real time* berupa grafik RPM, nilai beban, dan sudut kemiringan, serta fitur pencatatan data (*data logging*) sehingga operator dapat memantau riwayat operasional AGV secara lebih komprehensif.
2. Pengujian sistem perlu diperluas pada kondisi operasional yang lebih beragam, seperti permukaan lantai yang tidak rata, kondisi beban dinamis saat AGV sedang bergerak, serta variasi kecepatan yang lebih luas, untuk mengevaluasi ketahanan dan keandalan sistem pada kondisi nyata di lingkungan industri.
3. Untuk penerapan di lingkungan industri yang lebih luas, kapasitas beban maksimum AGV dapat ditingkatkan dengan memperkuat struktur rangka, mengganti motor dengan daya yang lebih besar, serta menyesuaikan kembali parameter *fuzzy* dan PID agar tetap optimal pada rentang beban yang lebih tinggi.