

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Sistem navigasi AGV berbasis *landmark* visual ArUco mampu memanfaatkan pose marker relatif terhadap frame kamera sebagai referensi navigasi pada lingkungan *warehouse indoor* tanpa jalur pemandu kontinu. Informasi posisi (X, Y, Z) dan orientasi (θ_x , θ_y , θ_z) marker relatif terhadap frame kamera digunakan sebagai acuan *marker switching*, sehingga AGV dapat berpindah dari satu marker ke marker berikutnya secara otonom hingga mencapai titik tujuan. Berdasarkan total 60 data pengujian, diperoleh nilai orientasi θ_x pada rentang $-152,51^\circ$ hingga $-103,82^\circ$, θ_y pada rentang $26,23^\circ$ hingga $55,09^\circ$, dan θ_z pada rentang $37,91^\circ$ hingga $73,33^\circ$. Sistem berhasil mendeteksi marker ArUco pada lintasan navigasi menuju Titik A, Titik B, dan Titik C serta kembali menuju *homebase*.
2. Sistem AGV mampu mendeteksi *obstacle* selama proses navigasi menggunakan kombinasi deteksi objek YOLOv8n dan sensor ultrasonik. Model YOLOv8n berhasil mendeteksi *obstacle* berupa *box* dan manusia, ketika *obstacle* terdeteksi dan jarak sensor ultrasonik berada di bawah batas aman, AGV secara otomatis berpindah ke kondisi *obstacle_wait* hingga lintasan kembali aman, kemudian melanjutkan navigasi menuju tujuan.
3. Sistem AGV trackless berhasil mencapai titik tujuan berdasarkan informasi marker ArUco dan logika navigasi yang diterapkan. Dari 30 pengujian navigasi tanpa *obstacle* yang terdiri atas 10 pengujian pada Titik A, 10 pengujian pada Titik B, dan 10 pengujian pada Titik C, seluruh pengujian berhasil mencapai titik tujuan dan kembali ke *homebase*, sehingga diperoleh tingkat keberhasilan sebesar 100% (30/30). Durasi pengujian tanpa *obstacle* pada Titik A berada pada rentang 58,0-68,0 s dengan rata-rata 62,5 s, Titik B 60,0-111,0 s dengan rata-rata 88,6 s, dan Titik C 90,0-157,0 s dengan rata-rata 114,8 s. Pengujian dengan *obstacle* juga menunjukkan keberhasilan sebesar 100% (30/30), dengan rata-rata durasi 104,2 s pada Titik A, 95,8 s pada Titik B, dan 114,7 s pada Titik

C, AGV mampu menghentikan pergerakan saat *obstacle* terdeteksi dan melanjutkan navigasi setelah kondisi kembali aman. Secara keseluruhan sistem berhasil menyelesaikan 60 dari 60 pengujian (60/60) atau 100%, sehingga informasi marker ArUco dan logika navigasi yang diterapkan mampu mendukung AGV dalam mencapai titik tujuan A, B, dan C serta kembali ke *homebase*.

5.2 Saran

1. Konfigurasi marker dan rute navigasi dapat dibuat lebih bervariasi agar kemampuan navigasi AGV tidak hanya diuji pada susunan marker dan rute yang telah ditentukan dalam penelitian ini.
2. Sistem navigasi dapat dikembangkan dengan metode *global path planning* atau *dynamic path planning* agar AGV mampu menentukan dan menyesuaikan lintasan ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan.
3. Pengujian sistem dapat dilakukan pada kondisi lingkungan yang lebih bervariasi, terutama variasi pencahayaan dan kondisi lingkungan *indoor*, untuk mengetahui pengaruh perubahan kondisi tersebut terhadap deteksi marker ArUco dan objek.
4. Validasi akurasi pose ArUco dapat diperluas pada jarak yang lebih sesuai dengan rentang operasional navigasi. Pada penelitian ini, validasi akurasi dilakukan pada jarak 0,3-1,0 m, sehingga nilai pose di luar rentang tersebut digunakan sebagai observasi navigasi dan tidak digunakan untuk menyatakan tingkat akurasi pose pada jarak tersebut.
5. Pengujian sistem deteksi *obstacle* dapat dikembangkan menggunakan rintangan yang bergerak untuk mengevaluasi kemampuan AGV dalam merespons perubahan kondisi lintasan secara dinamis.