

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Sistem persepsi visual berbasis YOLOPv2 telah diimplementasikan pada ADV menggunakan kamera RGB Astra, ROS 2 Humble, dan Intel NUC sebagai platform pengujian akhir. YOLOPv2 menghasilkan object detection, drivable area, dan lane line. Pengujian integrasi menunjukkan object cloud dan costmap marking pada lima dari lima rekaman ARMED obstacle, sehingga informasi obstacle telah dapat diteruskan hingga representasi lingkungan kendaraan pada skenario yang diuji.
2. Pada pengujian manusia 1–5 m sebanyak 100 capture (50 capture malam dan 50 capture siang), sistem berhasil mendeteksi manusia pada seluruh pengujian malam dan siang dengan detection rate 100%, dengan confidence rata-rata 0,867 pada malam dan 0,974 pada siang. Estimasi jarak menggunakan model kalibrasi yang sama menghasilkan MAE 0,244 m dan RMSE 0,310 m pada kondisi malam, serta MAE 0,539 m dan RMSE 0,627 m pada kondisi siang. Deteksi manusia menunjukkan konsistensi pada kedua kondisi pengujian, sedangkan estimasi jarak berbasis geometri bounding box masih menunjukkan sensitivitas terhadap perubahan karakteristik visual.
3. Pengolahan drivable area dan lane line menjadi Lane Safety menghasilkan kesesuaian status 60 dari 60 capture pada enam kondisi terkontrol. Pada pengujian dinamis, perubahan GREEN|RED menjadi GREEN|GREEN teramati pada empat snapshot setelah kondisi visual berubah, sedangkan dua snapshot merekam fase sebelum transisi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa status Lane Safety dapat diperbarui dan tidak digunakan sebagai klaim keberhasilan kontrol kendaraan.
4. Pengujian performa pemrosesan pada CPU Intel NUC menghasilkan pipeline throughput sebesar 1,587–1,619 FPS, dengan inference time 589,9–614,9 ms, processing time 615,5–641,0 ms, dan frame age rata-rata 124,1–176,8 ms pada tiga kondisi visual. Nilai 1,587–1,619 FPS tersebut merupakan laju frame yang berhasil menyelesaikan pipeline pemrosesan YOLOPv2 dan bukan frame rate

input kamera, karena kamera dikonfigurasi secara terpisah dengan request akuisisi 15 FPS. Tahap inferensi menjadi komponen waktu dominan dalam processing time sehingga optimasi komputasi masih diperlukan untuk meningkatkan frekuensi pembaruan keluaran persepsi.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dapat mengevaluasi optimasi tahap inferensi karena tahap tersebut merupakan komponen waktu dominan pada pipeline CPU. Optimasi dapat dilakukan melalui evaluasi ukuran input, pengaturan thread, optimasi model, atau penggunaan akselerator komputasi yang kompatibel. Peningkatan throughput diharapkan dapat memperpendek interval pembaruan informasi persepsi pada kondisi kendaraan bergerak.

Hasil pengujian malam dan siang menunjukkan bahwa model kalibrasi estimasi jarak berbasis rasio lebar citra terhadap lebar bounding box belum sepenuhnya robust terhadap perubahan kondisi visual. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan kalibrasi yang lebih robust terhadap variasi kondisi visual, misalnya dengan menambahkan fitur geometris lain selain lebar bounding box, mengevaluasi metode berbasis ground-plane atau homography, maupun memanfaatkan informasi depth apabila pipeline dikembangkan pada penelitian berikutnya. Pengembangan tersebut sebaiknya divalidasi pada variasi pose manusia dan posisi lateral menggunakan dataset validasi yang terpisah dari dataset kalibrasi. Apabila posisi, orientasi, atau konfigurasi kamera berubah, model kalibrasi perlu dibuat ulang agar hubungan antara geometri bounding box dan jarak tetap sesuai dengan konfigurasi aktual.

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan pada pengujian integrasi 4.5A, informasi obstacle perlu dikembangkan dengan mekanisme tracking dan persistensi temporal pada koordinat kendaraan atau lingkungan. Obstacle yang sementara keluar dari bidang pandang kamera selama kendaraan melakukan perubahan arah sebaiknya tidak langsung kehilangan representasinya sebelum kendaraan benar-benar melewati posisi obstacle. Penghapusan obstacle dari representasi lingkungan sebaiknya tidak hanya didasarkan pada hilangnya deteksi pada frame terbaru, tetapi dilakukan setelah terdapat konfirmasi bahwa area telah kembali bebas, obstacle

telah dilewati, atau kriteria persistensi lain yang telah divalidasi. Mekanisme tersebut diharapkan dapat meningkatkan kontinuitas informasi obstacle ketika terjadi kehilangan deteksi sementara.

Lane Safety selanjutnya perlu diuji pada variasi lintasan, pencahayaan, kelengkungan jalan, serta transisi kondisi yang lebih beragam. Pengamatan dengan durasi lebih panjang juga dapat digunakan untuk mengevaluasi konsistensi perubahan status Lane Safety dari satu kondisi ke kondisi berikutnya selama kendaraan bergerak.

Untuk meningkatkan keterlacakan hasil pengujian, arsip penelitian sebaiknya menyimpan versi source program, konfigurasi YAML efektif, model yang digunakan, parameter runtime, dan manifest sesi pengujian. Penyimpanan tersebut diperlukan agar kondisi sistem pada saat pengambilan data dapat direproduksi secara konsisten.

Pengujian terhadap strategi perencanaan lintasan, respons aktuator, keberhasilan penghindaran obstacle, serta penyelesaian goal dapat dilakukan sebagai pengujian subsistem lain atau penelitian lanjutan. Aspek tersebut tidak digunakan sebagai parameter keberhasilan pada penelitian ini karena ruang lingkup penelitian dibatasi pada implementasi dan evaluasi sistem persepsi visual, termasuk pembentukan informasi obstacle dan Lane Safety.