

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengimplementasikan sistem *Virtual Mouse* berbasis *Hand Landmark Detection* menggunakan model YOLO11 sebagai solusi navigasi komputer tanpa sentuh. Berdasarkan seluruh proses pengembangan dan pengujian yang telah dilaksanakan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Sistem *Virtual Mouse* berhasil diimplementasikan menggunakan model YOLO11 yang mampu mendeteksi *bounding box* tangan sekaligus memetakan titik-titik *landmark* dalam satu kali inferensi, yang kemudian diterjemahkan menjadi sembilan aksi *mouse* melalui logika geometris berbasis analisis posisi *keypoint* pada *class GestureInterpreter*. Pengujian fungsional membuktikan bahwa seluruh aksi *mouse* dapat dieksekusi dengan benar sesuai gestur yang telah ditentukan, dan hasil *User Acceptance Testing* menunjukkan bahwa sistem diterima dengan baik oleh pengguna serta dinilai layak menjadi alternatif pengganti *mouse* fisik dan *touchpad* dalam kegiatan sehari-hari.
- 2) Evaluasi kinerja sistem menunjukkan bahwa dari sisi kecepatan respons, sistem mampu memenuhi kebutuhan *real-time* pada perangkat dengan dukungan GPU, sedangkan pada perangkat *CPU-only* sistem tetap dapat beroperasi secara fungsional meskipun dengan latensi yang lebih tinggi. Dari sisi keandalan, model YOLO11 yang dilatih dengan kombinasi augmentasi *Random HSV* dan *Copy-Paste Augmentation* terbukti memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi pencahayaan rendah, pencahayaan berlebih, dan latar belakang yang kompleks, mengatasi kelemahan utama yang diidentifikasi pada penelitian-penelitian sebelumnya.
- 3) Dari sisi performa komputasi, sistem yang dijalankan pada perangkat berbasis GPU mencapai kecepatan rata-rata 20,16 FPS dengan latensi rata-rata 54,66 ms, sehingga mampu memenuhi kebutuhan pemrosesan secara *real-time*. Sebaliknya, pada perangkat *CPU-only*, sistem hanya mencapai rata-rata 3,71 FPS dengan latensi rata-rata 239,77 ms, yang menunjukkan penurunan performa signifikan namun sistem tetap dapat beroperasi secara fungsional. Selain itu, hasil pengujian pada berbagai kondisi intensitas cahaya menunjukkan bahwa sistem tetap stabil dan mampu mempertahankan akurasi deteksi yang baik pada rentang pencahayaan 200–500 lux, yang merepresentasikan kondisi pencahayaan umum pada ruangan kerja maupun ruang belajar sehari-hari.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menjawab seluruh rumusan masalah dan mencapai tujuan yang telah ditetapkan, membuktikan bahwa sistem *Virtual Mouse* berbasis YOLO11 merupakan solusi alternatif interaksi komputer berbasis gestur tangan yang fungsional, andal, dan dapat diterima oleh pengguna.

5.2 Saran

Meskipun sistem *Virtual Mouse* yang dikembangkan telah menunjukkan hasil yang baik, masih terdapat beberapa aspek yang dapat ditingkatkan dan dikembangkan lebih lanjut. Berikut adalah saran yang dapat menjadi pertimbangan bagi peneliti selanjutnya.

- 1) Penambahan aksi kendali volume suara, seperti memperbesar dan memperkecil volume suara secara langsung melalui gestur tangan, dapat dipertimbangkan untuk memperluas cakupan aksi yang didukung sistem sehingga pengalaman navigasi komputer tanpa sentuh menjadi lebih lengkap dan fungsional.
- 2) Penambahan dukungan untuk tangan kiri perlu dipertimbangkan agar sistem dapat digunakan oleh pengguna yang dominan menggunakan tangan kiri, sehingga aksesibilitas sistem menjadi lebih inklusif.
- 3) Pengembangan dataset yang lebih beragam dengan mencakup variasi kondisi lingkungan, jarak penggunaan, serta karakteristik pengguna yang lebih luas dapat dilakukan untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model dalam mengenali gestur tangan pada kondisi penggunaan nyata yang lebih beragam.

Dengan mempertimbangkan saran-saran tersebut, diharapkan pengembangan sistem *Virtual Mouse* di masa mendatang dapat menghasilkan solusi yang semakin canggih, inklusif, dan siap diterapkan secara luas sebagai alternatif navigasi komputer yang ergonomis dan efisien.