

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem kendali kursi roda *hands-free* berhasil direalisasikan melalui fusi data spasial dari tiga sensor IMU MPU-6050 dan sensor jarak HC-SR04 menggunakan mikrokontroler ESP32. Algoritma Random Forest terbukti andal dalam memetakan intensi gerakan tubuh pengguna dengan akurasi *offline* mencapai 97,58% dan akurasi implementasi *real-time* sebesar 96,89%. Algoritma ini secara adaptif mampu mengisolasi kontribusi fitur *Yaw* yang rentan terhadap *drift* sehingga stabilitas klasifikasi tetap terjaga secara optimal.
2. Integrasi Safety Override membentuk sistem kendali loop tertutup yang responsif dalam memprioritaskan keselamatan, sistem mampu menghentikan aktuator motor saat terdeteksi rintangan statis pada jarak kritis ($d \leq 30$ cm) dengan tingkat keberhasilan keseluruhan mencapai 95,56%.
3. Evaluasi pada skenario rintangan dinamis menunjukkan penurunan akurasi menjadi 92,22%. Keterbatasan ini bersumber dari sempitnya rentang sudut efektif sensor ultrasonik HC-SR04 (15 derajat), yang mengakibatkan sistem kehilangan pantulan gelombang apabila objek melintas secara horizontal dengan terlalu cepat.
4. Berdasarkan perbandingan dengan penelitian terdahulu, sistem yang dirancang terbukti mampu menutupi kelemahan pada penelitian sebelumnya. Sistem ini mengungguli akurasi klasifikasi *offline* metode SVM (94,64%) dan metode KNN (96,16%) yang ada pada penelitian sebelumnya, di mana nilai akurasi klasifikasi *offline* sistem ini sebesar 97,58%, serta memadukan pengenalan navigasi yang stabil dengan interupsi keselamatan secara *real-time*, sehingga menghasilkan kendali kursi roda yang lebih inklusif, presisi, dan aman dari risiko benturan.

5.2 Saran

Untuk mendukung pengembangan lebih lanjut serta penerapan sistem dalam skala yang lebih luas, beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut.

1. Karena penelitian ini hanya memakai rompi kain untuk meletakkan sensor IMU, maka perlu dipastikan ulang kesesuaian posisi peletakan sensor pada tubuh pengguna sebelum proses pengambilan data. Penempatan sensor yang presisi sangat penting guna menghindari kesalahan pembacaan orientasi gerak dan menjaga tingkat akurasi respons kursi roda.

2. Karena penelitian ini masih berupa *prototype* awal, jika ingin menyempurnakan disarankan kedepannya untuk menggunakan model komputasi dan algoritma yang lebih *advance* dan efisien (seperti Neural Networks atau Gradient Boosting) untuk membandingkan kinerjanya dengan algoritma Random Forest dalam hal pengenalan postur tubuh, guna meningkatkan kecepatan inferensi dan akurasi *real-time* di lingkungan dinamis.
3. Untuk mengatasi area *blind spot* dan meningkatkan kemampuan *Safety Override* disarankan untuk mengganti sensor HC-SR04 dengan jenis sensor pendeteksi jarak yang memiliki spesifikasi lebih baik (sudut penyebaran lebih luas atau resolusi lebih presisi), seperti sensor ultrasonik JSN-SR04T, *Time-of-Flight* (ToF) VL53L0X, atau sensor LiDAR.
4. Pengujian kinerja navigasi pergerakan dan *Safety Override* pada kursi roda dapat dikembangkan pada lintasan yang sedikit miring atau jalan dengan permukaan yang tidak rata, atau area *outdoor* guna melihat kestabilan model klasifikasi dalam meredam getaran mekanis yang wajar terjadi sehari-hari dan mengevaluasi kemampuan *Safety Override* pada jenis lingkungan dan rintangan lain.

