

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta serangkaian pengujian sistem kendali adaptif pada kursi roda elektrik menggunakan jaringan Multi-Sensor Inersia (*Multi-IMU*) dan *Dynamic Thresholding* berbasis *Random Forest* dan *Exponential Moving Average* (EMA), dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Arsitektur *Multi-IMU* yang terdiri dari tiga modul sensor MPU-6050 berhasil dirancang dan diposisikan secara optimal pada titik anatomis tubuh bagian atas pengguna—yakni Sensor 0 pada scapula kiri, Sensor 1 pada scapula kanan, dan Sensor 2 pada area lumbar ($L_1 - L_2$)—sehingga mampu mengakuisisi perubahan orientasi spasial (*pitch, roll, yaw*) secara responsif untuk mengekstraksi niat pergerakan (*motion intention*) pengguna secara *hands-free*.
2. Penerapan filter *Exponential Moving Average* (EMA) sebagai mekanisme penyesuaian ambang batas dinamis (*dynamic thresholding*) terbukti sangat efektif dalam mereduksi tingkat kegagalan deteksi (*False Negative Rate*) akibat fenomena kelelahan otot (*muscle fatigue*). Hal ini terbukti dari peningkatan tingkat keberhasilan pengujian performa kendali nyata secara keseluruhan dari 95.11% (menggunakan *static threshold*) menjadi 97.33% (menggunakan *dynamic thresholding* EMA).
3. Algoritma *Random Forest* menunjukkan performa klasifikasi dan keandalan yang tinggi dalam mengidentifikasi lima kelas manuver navigasi kursi roda (fleksi/maju, ekstensi/mundur, lateral bending kanan, lateral bending kiri, dan diam/tegap), dengan perolehan akurasi evaluasi model *Cross-Validation* sebesar 94.00% serta rata-rata metrik evaluasi makro (*Precision, Recall, F1-Score*) mencapai 0.94.
4. Pengujian performa waktu respons sistem (*latensi komputasi*) menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem untuk memproses data sensor hingga mengeksekusi perintah manuver adalah 67.65 ms (tanpa EMA) dan 68.20 ms (dengan EMA). Angka ini berada jauh di bawah batas toleransi standar sistem interaksi *real-time* (150 ms), yang membuktikan bahwa integrasi filter EMA dan algoritma *Random Forest* berjalan secara sangat efisien dan instan tanpa menimbulkan kelambatan (*lag*) operasional bagi pengguna.

5.2 Saran

Untuk mendukung pengembangan lebih lanjut serta memaksimalkan penerapan purwarupa sistem di masa mendatang, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan meliputi:

1. Portabilitas Perangkat Keras: Sistem pemrosesan komputasi yang saat ini masih menggunakan unit eksternal (Laptop/PC) dapat dikembangkan agar lebih *portable* dengan mengintegrasikan mikrokontroler berkapasitas tinggi atau mini-PC tertanam (*embedded system*) langsung pada sasis kursi roda.
2. Variasi Manuver Navigasi: Penelitian selanjutnya dapat memperkaya variasi kelas gerakan tubuh dengan menambahkan fitur kendali tingkat lanjut, seperti pengaturan kecepatan variabel (akselerasi/deselerasi) serta manuver kemudi diagonal atau berputar di tempat.

