

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan implementasi dan pengujian subsistem pemantauan postur lateral serta kelelahan otot pinggang pada ERGOSENSE, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem mampu mendeteksi aktivitas otot erector spinae menggunakan sensor sEMG secara valid pada rentang frekuensi 20 Hz hingga 400 Hz. Pada pengujian frekuensi 480 Hz terjadi fenomena aliasing karena laju pencuplikan aktual sebesar 838,93 sampel per detik menghasilkan batas Nyquist sebesar 419,46 Hz. Dengan demikian, spesifikasi deteksi hingga 500 Hz belum sepenuhnya terpenuhi, meskipun rentang frekuensi dominan aktivitas otot yang digunakan dalam pemantauan telah berhasil dideteksi.
2. Sensor IMU mampu mendeteksi perubahan sudut postur tubuh dengan nilai penyimpangan terbesar sebesar $1,82^{\circ}$ pada sudut referensi 0° . Pada sudut referensi 25° , 30° , 45° , dan 60° , nilai penyimpangan berada pada rentang $0,17^{\circ}$ hingga $0,56^{\circ}$. Seluruh hasil tersebut masih berada di bawah batas toleransi maksimal $\pm 5^{\circ}$, sehingga sensor memenuhi spesifikasi pembacaan perubahan postur.
3. Sistem mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan tingkat kelelahan otot pinggang dengan tingkat kesesuaian sebesar 87,88% terhadap penilaian subjektif skala Borg CR10. Dari 33 pasangan data valid, sebanyak 29 data menunjukkan klasifikasi yang sesuai dan empat data menunjukkan perbedaan klasifikasi. Hasil tersebut telah melampaui batas minimum yang ditetapkan, yaitu 85%.
4. Sistem mampu mengenali tujuh kategori postur, yaitu posisi tegak, condong kanan ringan, sedang, dan berat, serta condong kiri ringan, sedang, dan berat. Dari 210 data pengujian, sebanyak 205 data berhasil dikenali dengan benar

sehingga diperoleh akurasi sebesar 97,61%. Nilai tersebut telah melampaui target minimum akurasi sebesar 85%.

5. Waktu pemrosesan internal maksimum tercatat 24 ms atau 0,024 detik, lebih kecil daripada batas 2 detik. Nilai tersebut belum mencakup seluruh waktu tunda ujung-ke-ujung hingga notifikasi atau getaran diterima, sehingga pengujian lanjutan diperlukan sebelum spesifikasi respons peringatan dinyatakan terpenuhi secara penuh.

6. Motor getar 5 V mampu menghasilkan umpan balik haptik sesuai spesifikasi kecepatan minimal 9.000 RPM pada nilai PWM 200 hingga 255. Kecepatan motor yang diperoleh berada pada rentang 9.843,75 RPM hingga 11.250 RPM. Sementara itu, PWM 125, 150, dan 175 belum memenuhi spesifikasi, sehingga pengoperasian motor disarankan menggunakan nilai PWM minimal 200.

7. Sistem menyimpan 298 baris hasil pemantauan ke basis data SQLite dengan interval penulisan dominan dua detik, rata-rata latensi sekitar 467 ms, dan tanpa nilai kosong pada kolom kritis. Pengujian membuktikan kelengkapan kolom pada data yang tersimpan, tetapi belum membuktikan ketiadaan paket hilang karena jumlah paket yang diharapkan dan nomor urut paket belum dicatat.

8. Berdasarkan validasi terhadap enam subjek dengan karakteristik postur dan respons otot yang berbeda, sistem mampu mencatat perubahan postur dan indikator kelelahan secara berkelanjutan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat kelelahan tidak selalu ditentukan oleh satu parameter, sehingga penggunaan gabungan MNF, MDF, RMS, skor kelelahan, *fatigue level*, dan Z-score diperlukan untuk memberikan gambaran kondisi otot yang lebih menyeluruh.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap sistem ErgoSense yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut agar kinerjanya menjadi lebih optimal, yaitu sebagai berikut:

1. Meningkatkan laju pencuplikan sistem akuisisi sEMG menjadi minimal 1.200–1.500 sampel per detik dan menggunakan mekanisme hardware timer interrupt. Peningkatan tersebut diperlukan agar sinyal hingga 500 Hz dapat direkam tanpa mengalami aliasing.
2. Menambahkan proses kalibrasi awal untuk setiap pengguna, meliputi kalibrasi posisi tegak, nilai dasar sinyal sEMG, dan nilai MVC. Kalibrasi individual diperlukan karena karakteristik fisiologis, ketebalan jaringan tubuh, dan tingkat aktivitas otot setiap pengguna berbeda.
3. Meningkatkan konsistensi klasifikasi pada daerah peralihan antara postur tegak dan condong ringan melalui penyempurnaan ambang sudut, penyaringan data, serta penggunaan beberapa sampel berturut-turut sebelum sistem menetapkan perubahan kelas postur.
4. Melakukan standarisasi pemasangan elektroda sEMG, meliputi posisi, jarak antarelektroda, pembersihan permukaan kulit, dan pengamanan kabel. Hal ini diperlukan untuk mengurangi gangguan akibat perubahan kontak elektroda, keringat, gerakan kabel, dan *motion artifact*.
5. Mengoperasikan motor getar menggunakan nilai PWM minimal 200 agar kecepatan motor memenuhi spesifikasi 9.000 RPM. Pengujian lanjutan dapat menggunakan alat ukur kecepatan putar seperti tachometer untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih presisi.
6. Menambah jumlah dan variasi subjek serta melakukan pengujian berulang dalam durasi yang lebih panjang. Pengembangan ini diperlukan untuk menguji konsistensi sistem pada perbedaan usia, jenis kelamin, berat badan, karakteristik otot, dan kebiasaan duduk pengguna.
7. Mengembangkan fitur penyimpanan dengan menambahkan sinkronisasi *cloud*, ekspor laporan, visualisasi tren jangka panjang, serta notifikasi otomatis apabila sistem mendeteksi pola postur tidak ergonomis atau kelelahan otot yang terjadi secara berulang.