

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan analisis terhadap sistem wearable device pendeteksi teknik angkat beban pada latihan otot bahu berbasis ESP32 dan flex sensor, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang mampu mendeteksi ketepatan teknik gerakan latihan otot bahu, yaitu Lateral Raise, Front Raise, dan Shoulder Press, melalui pembacaan sudut lengan menggunakan flex sensor yang diproses oleh mikrokontroler ESP32, kemudian ditampilkan secara real-time melalui dashboard web yang terhubung dengan Firebase Realtime Database.
2. Hasil pengujian kalibrasi menunjukkan bahwa flex sensor mampu merepresentasikan sudut lengan pada rentang 90° hingga 180° dengan cukup baik, meskipun hubungan antara nilai ADC dan sudut asli bersifat tidak linear. Penggunaan tujuh titik kalibrasi beserta metode interpolasi linear terbukti cukup untuk menghasilkan pembacaan sudut yang mendekati kondisi sebenarnya.
3. Sistem mampu memproses data sensor dan melakukan evaluasi ketepatan gerakan secara real-time dengan waktu pemrosesan rata-rata sebesar 10,14 ms per siklus, berdasarkan lima sampel pengujian pada rentang 10,0 ms hingga 10,3 ms. Kecepatan ini menunjukkan bahwa algoritma evaluasi gerakan pada ESP32 berjalan stabil dan tidak mengalami penumpukan proses.
4. Fitur peringatan menggunakan buzzer terbukti responsif dalam memberikan umpan balik kepada pengguna. Rata-rata jeda waktu transisi bunyi peringatan saat terjadi kesalahan postur adalah 10,33 ms, sedangkan proses mematikan buzzer ketika postur kembali benar terjadi secara instan dengan jeda waktu di bawah 1,0 ms.

5. Penyimpanan riwayat sesi latihan yang semula dirancang menggunakan SD card module dialihkan menjadi penyimpanan berbasis Google Sheets melalui Google Apps Script Web App API, dikarenakan keterbatasan power supply perangkat dalam memenuhi kebutuhan tegangan modul SD card. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data riwayat sesi berhasil tersimpan dan dapat ditampilkan kembali pada dashboard web dengan cepat dan mudah diakses.
6. Perubahan komponen output dari vibration motor menjadi buzzer terbukti lebih efektif dalam memberikan umpan balik yang dapat dirasakan pengguna secara langsung, mengingat vibration motor pada rancangan awal tidak mampu menghasilkan getaran yang cukup terasa selama pengujian.
7. Hasil pengujian perbandingan antara pengguna berpengalaman dan pengguna pemula menunjukkan bahwa umpan balik buzzer terbukti efektif membantu koreksi teknik gerakan secara real-time, dengan pengguna berpengalaman mampu mempertahankan skor tinggi secara konsisten (79-100) karena kecepatan responnya dalam mengoreksi posisi lengan setelah buzzer berbunyi. Pengguna pemula pada sesi-sesi awal cenderung memperoleh skor lebih rendah (50-52) akibat waktu koreksi yang lebih lambat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem wearable device pendeteksi teknik angkat beban latihan otot bahu ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut agar memiliki performa dan cakupan fungsi yang lebih baik. Adapun saran untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan peningkatan kapasitas power supply pada perangkat, misalnya dengan menggunakan baterai berkapasitas lebih besar atau modul boost converter, sehingga komponen tambahan seperti SD card module

dapat kembali diaktifkan sebagai penyimpanan cadangan (backup) apabila koneksi internet terputus.

2. Cakupan sistem yang saat ini masih berfokus sebagai subsistem pendeteksi latihan otot bahu dapat dikembangkan menjadi sistem yang lebih menyeluruh, dengan menambahkan flex sensor maupun sensor gerak lain pada bagian tubuh berbeda, sehingga mampu mendeteksi teknik latihan pada kelompok otot lainnya secara bersamaan.
3. Proses kalibrasi sensor yang saat ini masih dilakukan secara manual dapat dikembangkan menjadi metode kalibrasi otomatis, sehingga proses pemasangan alat pada pengguna baru menjadi lebih praktis dan tidak memerlukan pengaturan ulang tabel kalibrasi secara manual.
4. Mekanisme penyimpanan riwayat sesi yang saat ini sepenuhnya bergantung pada koneksi WiFi dan layanan Firebase maupun Google Apps Script perlu dilengkapi dengan mekanisme penyimpanan sementara (local buffer) pada ESP32, agar data latihan tidak hilang apabila terjadi gangguan koneksi internet selama sesi berlangsung.
5. Pengujian kecepatan pemrosesan dan respons buzzer pada penelitian ini masih menggunakan jumlah sampel yang terbatas. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian dengan jumlah sampel dan durasi pengujian yang lebih panjang, guna memperoleh gambaran performa sistem yang lebih representatif.
6. Perlu dilakukan validasi ketepatan evaluasi gerakan oleh pelatih kebugaran atau ahli biomekanika, untuk memastikan bahwa zona penilaian sudut yang diterapkan pada logika *Rule-Based zone* maupun *state machine* benar-benar sesuai dengan standar teknik latihan yang baik dan benar secara medis maupun olahraga.
7. Desain casing dan penempatan komponen pada wearable device perlu terus disempurnakan agar lebih ergonomis dan nyaman digunakan dalam jangka

waktu latihan yang lebih lama, tanpa mengganggu pergerakan alami pengguna saat berolahraga.

