

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh proses perancangan, implementasi, pengujian, dan validasi yang telah dilakukan pada bab sebelumnya terhadap Sistem Terapi Tunagrahita Terpadu khusus pada *Smart Speaking System*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembacaan detak jantung (PPG) pada rentang 60–130 bpm terverifikasi dengan akurasi 98,00% dan error 2,00% terhadap Blood Pressure Monitor.
2. Pembacaan konduktansi kulit (GSR/EDA) pada rentang 0,5–10,0 μ S terverifikasi dengan akurasi 95,77% dan error 4,23% terhadap Multimeter Digital.
3. Pelacakan pose kepala (head-down) pada rentang 0°–60° terverifikasi dengan akurasi 98,93% dan deviasi rata-rata 0,64° menggunakan sensor IMU internal Oculus Quest.
4. Performa visual aplikasi VR berhasil mempertahankan frame rate di atas 60 FPS pada seluruh level (Lobby 66 FPS, Kitchen 65 FPS, Living Room 71 FPS, Classroom 70 FPS).
5. Klasifikasi tingkat kecemasan menggunakan model Random Forest dengan validasi LOSO mencapai akurasi 87,3%, F1-Score 80,4%, dan AUC 0,961, melampaui spesifikasi minimum 85%.
6. Output suara feedback berada pada rentang 54,2–70,1 dB (volume 50–75%), sesuai spesifikasi aman 55–70 dB tanpa distorsi audio.
7. Latensi transmisi data nirkabel (RTT) antara ESP32-C3 dan Raspberry Pi tercatat rata-rata 930,40 ms (maks 953,23 ms), memenuhi batas < 1.000 ms dengan simpangan baku 87,40 ms.
8. Intensitas feedback haptic motor NFP-C1030 terverifikasi melalui analisis FFT berada dalam rentang spesifikasi 2.000–3.000 RPM.
9. Waktu respons klasifikasi tercatat rata-rata 24,67 ms (ekstraksi fitur 2,53 ms + prediksi model 22,14 ms), jauh di bawah batas 5.000 ms.

10. Navigasi antarmuka VR hanya membutuhkan 2 langkah untuk memulai sesi latihan, jauh di bawah batas maksimal 6 langkah.
11. Data hasil latihan tersimpan lengkap dan valid 100% ke database SQLite (5.407 baris biometrik terverifikasi tanpa nilai null) dengan fitur ekspor laporan progress dalam format PDF.
12. Validasi sistem secara keseluruhan melalui pengujian lapangan terhadap tiga subjek anak selama 14 sesi valid menunjukkan rata-rata penurunan probabilitas stres sebesar 45,7% membuktikan bahwa sistem terbukti efektif dalam memberikan dampak penurunan kecemasan komunikasi yang terukur pada anak tunagrahita.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil rancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan sistem lebih lanjut di masa mendatang, yaitu:

1. Meskipun model *Random Forest* saat ini telah beroperasi optimal menggunakan 10 fitur ekstraksi terbaik, penelitian selanjutnya disarankan untuk membangun dataset fisiologis mandiri yang dikumpulkan langsung dari populasi anak tunagrahita.
2. Pengujian Klinis Jangka Panjang (*Longitudinal Study*) Evaluasi dampak sistem saat ini telah divalidasi melalui *Within-Subject Performance Test* dalam durasi singkat, Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan studi klinis secara longitudinal selama beberapa minggu dengan ukuran sampel subjek yang lebih besar.
3. Sistem VR dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan variasi skenario sosial transaksional yang lebih kompleks di luar ruang lingkup rumah Penambahan sistem *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA) juga disarankan agar tingkat kesulitan misi *keyword spotting* dan respons NPC dapat beradaptasi secara otomatis berdasarkan performa *real-time* anak.