

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut:

1. Perancangan sistem pendeteksi kantuk berbasis ESP32-CAM berhasil dilakukan dengan menerapkan metode *Haar Cascade Classifier* untuk mendeteksi mata secara *real-time*. Kamera ESP32-CAM digunakan sebagai sensor visual utama yang terhubung melalui jaringan *WiFi* untuk mengirim data ke Raspberry Pi Pico W. Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan kondisi lapangan seperti pencahayaan, sudut pandang, dan jarak wajah pengguna terhadap kamera.
2. Implementasi dan integrasi metode *Haar Cascade Classifier* dengan Raspberry Pi Pico W berhasil dijalankan secara efektif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi kantuk berdasarkan durasi mata tidak terdeteksi dalam waktu tertentu (*threshold* 3 detik). Ketika kondisi kantuk terdeteksi, buzzer secara otomatis aktif sebagai peringatan kepada pengguna.
3. Sistem menunjukkan tingkat akurasi dan waktu respons yang baik dalam pengujian. Dari total 30 kali pengujian tiap responden pada berbagai kondisi, sistem secara konsisten mampu mendeteksi durasi kantuk rata-rata 3,27 detik dengan waktu komputasi per frame sekitar 2,3 detik. Namun, faktor-faktor seperti pencahayaan rendah, sudut kemiringan kepala ekstrem, dan jarak kamera yang terlalu dekat atau terlalu jauh dapat memengaruhi akurasi sistem. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi tujuan yang diharapkan, namun masih memiliki ruang untuk pengembangan lebih lanjut dalam hal optimasi deteksi visual dan adaptasi terhadap kondisi lingkungan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan sistem deteksi kantuk ke depannya, antara lain:

1. Peningkatan Akurasi Deteksi Wajah dan Mata. Sistem saat ini masih mengalami kendala dalam mendeteksi wajah dan mata pada kondisi tertentu, seperti pencahayaan rendah, sudut kemiringan kepala ekstrem, atau jarak kamera yang tidak ideal. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan metode deteksi yang lebih canggih seperti *MediaPipe Face Mesh* atau *Deep Learning (CNN)* yang mampu memberikan akurasi lebih tinggi dalam berbagai kondisi.
2. Penggunaan Kamera dengan Kualitas Lebih Baik. Kamera ESP32-CAM memiliki keterbatasan dalam hal resolusi, sensitivitas cahaya, dan kecepatan pemrosesan. Disarankan untuk mengganti dengan modul kamera yang memiliki performa lebih baik, seperti Raspberry Pi Camera Module, OV5647, atau USB *webcam* berkualitas tinggi, yang mampu menghasilkan gambar lebih jelas dan mendukung pencahayaan rendah (*low-light*).
3. Integrasi dengan Sensor Tambahan. Sistem deteksi dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor lain seperti sensor denyut jantung (*pulse sensor*) atau accelerometer untuk mendeteksi tanda-tanda kantuk lebih komprehensif berdasarkan parameter fisiologis maupun perilaku.