

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengembangan sistem klasifikasi kondisi belajar mahasiswa berbasis citra wajah menggunakan algoritma *Random Forest*, dapat disimpulkan bahwa tahap pra-pemrosesan data yang meliputi pengubahan ukuran citra menjadi 48×48 piksel dan konversi ke skala kelabu (*grayscale*) berhasil mentransformasikan data citra menjadi matriks berukuran 2.304 fitur numerik secara efisien tanpa menghilangkan pola ekspresi yang krusial. Dalam hal kinerja klasifikasi, algoritma *Random Forest* terbukti memiliki kemampuan yang memadai dengan meraih nilai akurasi sebesar 79%, di mana sebanyak 33 dari total 42 sampel data uji berhasil diklasifikasikan dengan tepat. Kinerja pada tiap kategori menunjukkan bahwa kelas Lelah memperoleh tingkat *Precision* tertinggi sebesar 0.91 dengan AUC 0.97, kelas Fokus memperoleh nilai *Recall* tertinggi sebesar 0.86 dengan AUC sempurna 1.00, sedangkan kelas Mengantuk meraih nilai *Recall* sebesar 0.79 dengan AUC 0.93. Model yang telah dilatih dan disimpan dalam format .joblib ini juga terbukti dapat diimplementasikan secara *real-time* menggunakan input dari *webcam* untuk menampilkan penanda wajah (*bounding box*) dan label kondisi belajar secara cepat dan responsif pada kondisi pencahayaan normal. Meskipun demikian, analisis kesalahan prediksi menunjukkan bahwa sistem masih memiliki kendala dalam membedakan kondisi Lelah dan Mengantuk karena adanya kemiripan karakteristik visual seperti posisi kelopak mata yang menyempit, yang belum dapat terekstraksi secara maksimal hanya dengan mengandalkan nilai *flattening* piksel mentah.

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem pada penelitian selanjutnya, disarankan agar peneliti berikutnya dapat menerapkan metode ekstraksi fitur geometris berbasis titik landmark wajah (*Facial Landmark Detection*) untuk menghitung nilai *Eye Aspect Ratio* (EAR) dan *Mouth Aspect Ratio* (MAR) secara otomatis, sehingga perbedaan antara tingkat bukaan mata dan intensitas menguap dapat terukur secara sistematis. Selain itu, penambahan jumlah dan variasi dataset perlu dilakukan terutama terkait keberagaman tingkat pencahayaan, sudut kemiringan wajah (*head pose*), hingga penggunaan aksesoris seperti kacamata agar sistem memiliki daya generalisasi yang lebih tinggi saat diuji pada lingkungan nyata. Penelitian mendatang juga disarankan untuk melakukan optimasi hiperparameter pada algoritma *Random Forest*, seperti penyesuaian kedalaman maksimum pohon (*max_depth*) dan jumlah *estimators*, guna menyeimbangkan nilai *Precision* dan *Recall* di setiap kelas. Terakhir, pengembangan sistem dapat diarahkan pada integrasi modul peringatan dini (*early warning system*) yang mampu memberikan sinyal suara secara otomatis apabila kondisi lelah atau mengantuk terdeteksi dalam kurun waktu tertentu.