

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem deteksi kantuk pengemudi berbasis visual berhasil dibangun menggunakan kamera dan pemrosesan citra dengan metode ekstraksi fitur *Eye Aspect Ratio* (EAR), *Mouth Aspect Ratio* (MAR), dan *Blink Rate*. Sistem ini mengklasifikasikan kondisi kantuk ke dalam empat kelas: normal, lelah, mengantuk, dan mengantuk ekstrem menggunakan algoritma *Random Forest*.
2. Pengujian model *Random Forest* tanpa SMOTE menghasilkan akurasi 98%, dengan *precision* rata-rata 0.97, *recall* rata-rata 0.97, dan *F1-Score* rata-rata 0.97. Model dengan SMOTE mencapai akurasi 99%, dengan *precision* rata-rata 0.99, *recall* rata-rata 0.99, dan *F1-Score* rata-rata 0.99.
3. Fitur dengan kontribusi tertinggi terhadap keputusan model adalah *Blink Rate* (0.52), diikuti oleh EAR (0.30) dan MAR (0.18).
4. Dari segi efisiensi, sistem memiliki waktu komputasi rata-rata per frame sebesar 20,65 ms untuk proses deteksi landmark, 0,44 ms untuk perhitungan EAR dan MAR, serta 25,38 ms untuk prediksi *Random Forest*, sehingga total waktu pemrosesan mencapai 46,74 ms per frame. Dengan kecepatan tersebut, sistem mampu beroperasi secara real-time pada sekitar 21 FPS.

### 5.2 Saran

#### 1. Optimasi Algoritma

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan optimasi pada algoritma dengan melakukan *hyperparameter tuning* sehingga kinerja model dapat lebih maksimal. Selain itu, metode lain seperti *LightGBM* dapat dijadikan alternatif karena memiliki kecepatan proses dan akurasi yang lebih baik dibandingkan *Random Forest*, terutama ketika berhadapan dengan *dataset* yang lebih besar dan kompleks.

#### 2. Pengujian di Kondisi Nyata

Sistem yang telah dikembangkan perlu diuji langsung di lingkungan kendaraan yang sesungguhnya. Hal ini penting karena kondisi nyata menghadirkan berbagai tantangan seperti perubahan pencahayaan (siang, malam, atau cahaya lampu jalan), perubahan posisi wajah pengemudi, maupun gangguan dari getaran kendaraan. Pengujian di lapangan akan memastikan sistem benar-benar *robust* dan dapat diandalkan.

#### 3. Pendekatan *Multimodal*

Untuk meningkatkan akurasi, penelitian berikutnya dapat menggabungkan pendekatan visual dengan sumber data fisiologis seperti detak jantung atau

sensor getar kursi. Pendekatan *multimodal* ini akan memberikan hasil yang lebih akurat karena tidak hanya bergantung pada ekspresi wajah yang bisa dipengaruhi oleh kondisi eksternal, tetapi juga menggunakan indikator fisiologis sebagai penunjang.

#### 4. Implementasi pada Perangkat *Embedded*

Agar sistem dapat diaplikasikan secara nyata pada kendaraan, perlu dilakukan implementasi dan pengujian pada perangkat *embedded* seperti *Raspberry Pi* atau *Jetson Nano*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem mampu berjalan dengan baik pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya, sekaligus memastikan bahwa sistem tetap efisien, cepat, dan hemat energi saat digunakan secara langsung di kendaraan.

