

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis karakteristik dataset, evaluasi pelatihan model dan analisis kesalahan gambar pada enam konfigurasi model CLAHE dan NON-CLAHE, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penerapan simulasi pencahayaan rendah terbukti berhasil mengatasi ketidakseimbangan dataset yang awalnya didominasi oleh 79,6% gambar terang dan 20,4% gelap. Proses ini mengubah distribusi menjadi 60,2% gambar gelap dan 39,8% terang, sehingga menciptakan kondisi yang lebih bervariasi dan seimbang untuk menguji efektivitas *preprocessing* CLAHE.
2. Penerapan CLAHE dengan *clip limit* besar dan jumlah *grid* sedikit terbukti meningkatkan nilai RMS *Contrast* dan *brightness* pada dataset. Hal ini dibuktikan oleh konfigurasi *grid* 4x4 yang menghasilkan kontras tertinggi sebesar 47,7 dibandingkan seluruh variasi *grid* 8x8. Hal tersebut terjadi karena jumlah *grid* yang sedikit memiliki area *tile* lebih luas sehingga menghasilkan penguatan kontras yang lebih tinggi.
3. Penerapan CLAHE terbukti meningkatkan performa model MobileNetV2 dalam mendeteksi *face spoofing* dibandingkan model NON-CLAHE. Skenario CLAHE *clip limit* 2.0 dan *grid* 8x8 merupakan konfigurasi paling optimal dengan akurasi tertinggi sebesar 87,5% dan nilai HTER terendah sebesar 12,5%. Hasil ini menunjukkan peningkatan akurasi sebesar 2,0% dan penurunan tingkat kesalahan (HTER) sebesar 1,9% dibandingkan model NON-CLAHE.
4. Terdapat korelasi antara peningkatan nilai kontras dengan performa model, di mana peningkatan kontras hingga titik tertentu terbukti meningkatkan akurasi dan menurunkan nilai HTER secara konsisten. Namun, ditemukan batasan optimal pada nilai kontras di bawah 46,0, karena kontras berlebihan seperti pada skenario *clip limit* 1.5 dan *grid* 4x4 yang memiliki RMS *Contrast* 47,7 justru menurunkan akurasi menjadi 86,2% dibandingkan

RMS Contrast 45,6 pada skenario *clip limit* 2.0 dan *grid* 8x8 dengan akurasi 87,5%.

5. Penerapan CLAHE terbukti secara signifikan meningkatkan kemampuan model dalam mengenali fitur wajah asli pada kondisi pencahayaan buruk. Hal ini dibuktikan melalui hasil Confusion Matrix yang menunjukkan penurunan jumlah *False Positive* sebanyak 11 sampel, serta diperkuat oleh analisis kesalahan yang menunjukkan bahwa peningkatan kontras mampu menurunkan nilai probabilitas kesalahan dan mengubah keputusan prediksi model menjadi benar.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, terdapat beberapa saran bagi penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Menambah jenis serangan *spoofing* 3D pada dataset untuk menganalisis lebih jauh mengenai efek *preprocessing* CLAHE terhadap performa model MobileNetV2 dalam klasifikasi wajah *spoofing*.
2. Menggunakan dataset berkarakteristik gelap alami tanpa melalui simulasi pencahayaan rendah, untuk mengetahui efektivitas *preprocessing* CLAHE pada variasi *noise* sensor kamera yang asli sehingga hasil evaluasi lebih mencerminkan kondisi dunia nyata.
3. Menambah variasi konfigurasi parameter CLAHE, khususnya pada *grid size* yang lebih luas, serta menambahkan kombinasi teknik peningkatan citra lainnya seperti *Gamma Correction* untuk mengetahui apakah dengan kombinasi tersebut bisa menurunkan atau meningkatkan performa model MobileNetV2 dalam klasifikasi wajah *spoofing*.