

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model *Siamese Neural Network* (SNN) dengan arsitektur EfficientNet-B0 dan fungsi *BatchHard Triplet Loss* telah berhasil dirancang dan diimplementasikan pada *website* yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32-WROOM-32U dan *optical fingerprint sensor* AS608. Sistem mampu menjalankan skema *open-set identification* secara konsisten dengan transmisi komunikasi serial yang stabil pada *baud rate* 115200 bps tanpa kehilangan jumlah data. Pada fase pelatihan, rancangan model ini terbukti optimal dengan mencatatkan *Equal Error Rate* (EER) sebesar 5,2%, serta Akurasi, *Precision*, *Recall*, dan *F1-score* masing-masing sebesar 94,8%, dengan nilai AUC 98,76%.
2. Optimalisasi SNN terbukti secara empiris mampu meningkatkan pengenalan melalui skema identifikasi sidik jari, terutama pada kondisi citra yang terdegradasi. Sistem SNN mencapai akurasi rata-rata 87,5%, meningkat sebesar 32,1% atau 1,32 kali lipat dibandingkan metode internal sensor yang hanya mencatatkan akurasi rata-rata sebesar 66,25%. Lalu berhasil menekan tingkat kesalahan *False Rejection Rate* (FRR) menjadi 25%, menurun sebesar 62,9% atau 2,7 kali lipat dibandingkan FRR rata-rata metode Internal Sensor yang berada di nilai 67,5%. Kedua metode sama-sama mempertahankan keamanan dari tingkat kesalahan *False Acceptance Rate* (FAR) dengan tetap berada di nilai 0%. Titik performa tertinggi dicapai pada simulasi jari kering akibat optimalisasi kontras citra, sementara kondisi basah dan berminyak menjadi faktor degradasi terbesar. Meskipun unggul dalam sistem pengenalan, metode SNN memiliki *trade-off* operasional berupa peningkatan waktu pemrosesan (8800–12000 ms) yang jauh lebih lambat dibandingkan metode Internal Sensor (300–600 ms).

5.2 Saran

Berdasarkan kendala teknis dan keterbatasan yang ditemukan selama penelitian, berikut saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Pengujian variasi kondisi permukaan sidik jari (kering, basah, dan berminyak) pada penelitian ini masih divalidasi berdasarkan Prosedur Operasional Standar (SOP). Untuk menstandarisasi parameter pengujian, penelitian selanjutnya disarankan memvalidasi kondisi sidik jari menggunakan instrumen dermatologis, seperti *Corneometer* untuk mengukur tingkat kelembapan kulit dan *Sebumeter* untuk mengukur kadar minyak pada permukaan sidik jari.
2. Validasi kinerja sistem pada penelitian ini masih berstatus *Proof of Concept* (PoC) dengan sampel terbatas pada 10 responden di rentang usia (18–22 tahun). Untuk memvalidasi generalisasi dan ketahanan model, penelitian selanjutnya disarankan memperluas arsitektur pengumpulan *dataset* dengan mendistribusikan sampel responden lintas usia yang mencakup kelompok anak-anak, dewasa, dan lansia untuk diuji pada berbagai kondisi permukaan sidik jari.
3. Waktu pemrosesan arsitektur SNN yang melampaui 8000 ms belum memenuhi standar latensi *real-time* akibat *bottleneck* antarmuka UART sensor AS608 yang terkunci pada *baud rate* 57600 bps. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan modul sensor dengan antarmuka komunikasi berkecepatan tinggi, seperti SPI untuk memangkas waktu transmisi citra, serta mengonversi format inferensi *backend* dari PyTorch ke ONNX Runtime untuk mempercepat waktu komputasi model.
4. Variabel lingkungan pengujian, seperti suhu ruangan, intensitas cahaya, dan tekanan jari saat akuisisi citra, dikendalikan secara prosedural melalui konsistensi lokasi pengambilan data, sehingga belum diukur secara numerik. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan instrumentasi pendukung pengujian, seperti sensor tekanan, *lux meter*, dan *termometer*