DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI ii
SURAT PERNYATAAN iii
KARYA ASLI TUGAS AKHIR iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR 1
BAB I PENDAHULUAN 2
1.1 Latar Belakang Masalah 2
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Tahapan Penelitian 5
1.7 Sistematika Penulisan 6
BAB II 7
TINJAUAN LITERATUR 7
2.1 Pengolahan Citra Digital 7
2.1.1 Representasi Citra Digital 7
2.1.2 Pra-Pemrosesan Citra 8
2.1.3 Ekstraksi Fitur Citra Berbasis *Deep Learning* 9
2.2 Sistem Pengenalan Wajah dan *Presentation Attack* 9
2.3 *Face Anti-Spoofing* 11
2.4 Dataset CASIA-SURF untuk *Face Anti-Spoofing Multimodal* 13
2.5 Arsitektur Jaringan *Backbone* 15
2.5.1 Hierarki Fitur dalam CNN 16
2.5.2 *ResNet* sebagai *Backbone* 16
2.5.3 *MobileNetV3* sebagai *Backbone* 20
2.5.4 Perbandingan *Backbone* 22
2.5.5 Optimasi *AdamW* 23
2.6 Optimasi Arsitektur dan Strategi *Cut Block* 24
2.6.1 Konsep *Cut Block* sebagai Optimasi Struktural 25
2.6.2 *Cut Block* dalam *Backbone ResNet* 25
2.6.3 *Cut Block* dalam *Backbone MobileNetV3-Large* 26
2.6.4 Peran *Cut Block* dalam *Multi-Level Alignment* 26

2.6.5 *Simple Additive Fusion* 27
2.7 Optimasi Menggunakan *Bayesian Optimization* 28
2.7.1 Konsep Dasar *Bayesian Optimization* 28
2.7.2 Tree-structured Parzen Estimator 29
2.7.3 Representasi Hasil dengan *Epoch* Terbatas untuk Model Kompleks 32
2.7.4 Efisiensi Sampel dan Penentuan Jumlah *Trial* pada TPE 32
2.7.5 *Validation Loss* sebagai Fungsi Objektif 33
2.8 Metrik Evaluasi 34
2.8.1 *Confusion Matrix* 34
2.8.2 Kurva ROC, AUC, dan Penentuan Ambang Batas 36
2.9 Penelitian Sebelumnya 37
BAB III 44
METODOLOGI PENELITIAN 44
3.1 Pengumpulan Data 45
3.2 Pra-pemrosesan Data 46
3.2.1 Pemuatan Citra dan Penyeragaman Dimensi 47
3.2.2 Augmentasi Data 48
3.2.3 Konversi Ke *Tensor* 50
3.3 Pencarian Arsitektur Terbaik dengan TPE 50
3.3.1 Inisialisasi Ruang Pencarian 52
3.3.2 Mekanisme *Sampling* 53
3.3.3 Evaluasi Kandidat Model 55
3.3.4 Pembaruan Model Probabilitas dan Seleksi Akhir 56
3.4 Pelatihan Model Terpilih 57
3.4.1 Pemuatan Konfigurasi dan Inisialisasi Parameter 58
3.4.2 Mekanisme *Forward Pass* 62
3.4.3 Evaluasi Kerugian dan Pembaruan Bobot 63
3.4.4 Evaluasi Konvergensi *Epoch* 64
3.5 Pengujian dan Evaluasi Model 65
3.5.1 Skenario Pengujian 66
3.5.2 *Confusion Matrix* 67
3.5.3 Metrik Evaluasi Model 67
3.5.4 Kurva ROC dan Nilai AUC 70
3.5.5 Perbandingan Model *Baseline* dan Model Hasil Optimasi 72
BAB IV 73
HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 73
4.1 Implementasi 73

4.1.1 Implementasi Pengumpulan Data 73
4.1.2 Implementasi Pra-pemrosesan Data 75
4.1.3 Implementasi Pencarian Arsitektur Terbaik dengan TPE 77
4.1.4 Implementasi Pelatihan Model Terpilih 79
4.1.5 Implementasi Pengujian dan Evaluasi Model 84
4.2 Hasil 87
4.2.1 Hasil Pengumpulan Data 87
4.2.2 Hasil Pra-pemrosesan Data 90
4.2.3 Hasil Pencarian Arsitektur Terbaik dengan TPE 94
4.2.4 Hasil Pelatihan Model Terpilih 97
4.2.5 Hasil Pengujian dan Evaluasi Model 100
4.3 Pembahasan 102
4.3.1 Interpretasi Hasil Evaluasi 103
4.3.2 Perbandingan dengan Model *Baseline* 104
4.3.3 Posisi terhadap Penelitian Terdahulu 104
4.3.4 Keterbatasan 106
BAB V 107
PENUTUP 107
5.1 Kesimpulan 107
5.2 Saran 107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Backbone 23
Tabel 2.2 State of the Art (SOTA) 40
Tabel 2.3 Lanjutan Tabel State of the Art 41
Tabel 2.4 Lanjutan Tabel State of the Art 42
Tabel 3.1 Penggambaran Struktur File Daftar Anotasi 45
Tabel 3.2 Penggambaran Struktur Dataframe 46
Tabel 3.3 Definisi Ruang Pencarian 52
Tabel 3.4 Sampel Riwayat Eksekusi (5 Iterasi Awal) 54
Tabel 3.5 Ilustrasi Logits Model 55
Tabel 3.6 Contoh Rangkaian Eksperimen 57
Tabel 3.7 Metrik Evaluasi Performa Terbaik 69
Tabel 3.8 Sampel Data Evaluasi 71
Tabel 3.9 Perhitungan Evaluasi Kandidat Nilai Threshold 71
Tabel 3.10 Perbandingan Model Terpilih dengan Baseline 72
Tabel 4.1 Tabel Daftar Pra-pemrosesan 91
Tabel 4.2 Konfigurasi Data Loader 93
Tabel 4.4 Daftar Trial yang Dilakukan 94
Tabel 4.5 Parameter Arsitektur Terbaik 95
Tabel 4.6 Konfigurasi Training Model Terpilih 97
Tabel 4.7 Dimensi Fitur per Modalitas 98
Tabel 4.8 Riwayat Training Loss dan Akurasi per Epoch (Trial 5) 98
Tabel 4.9 Confusion Matrix pada Trial 5 100
Tabel 4.10 Rangkuman Metrik Evaluasi Trial 5 101
Tabel 4.11 Perbandingan Metrik Hasil TPE Dengan Baseline 102
Tabel 4.12 Perbandingan Confusion Matrix antara Baseline dan Hasil TPE 102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh serangan presentation attack dua dimensi (Pooshideh, 2022) 10
Gambar 2.2 Contoh serangan presentation attack tiga dimensi (Pooshideh, 2022)..... 11
Gambar 2.3 Perbandingan proses pelatihan dan deployment pada sistem Face Anti-Spoofing tradisional dan flexible-modal (Yu et al., 2022) 12
Gambar 2.4 Gambaran Dataset CASIA-SURF (Zhang et al., 2020) 14
Gambar 2.5 Ilustrasi Perbedaan Blok Biasa dengan Residual (He et al., 2015)..... 18
Gambar 2.6 Konfigurasi Arsitektur ResNet (He et al., 2015)..... 19
Gambar 2.7 Struktur Arsitektur MobileNetV3-Large (Howard et al., 2019)..... 20
Gambar 2.8 Ilustrasi mekanisme Tree-structured Parzen Estimator (TPE) (Watanabe, 2023) 29
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi.....44
Gambar 3.2 Diagram Alir Pra-pemrosesan 47
Gambar 3.3 Diagram Alir Pencarian Arsitektur Terbaik..... 51
Gambar 3.4 Diagram Alir Pelatihan Model Terpilih..... 58
Gambar 3.5 Ilustrasi Kurva ROC..... 70
Gambar 4.1 Struktur Path Dataset.....87
Gambar 4.2 Sampel Gambar dari Dataset..... 88
Gambar 4.3 Cuplikan Isi Dokumen Anotasi 89
Gambar 4.4 Jumlah Citra dalam Dataset di Setiap Partisi 90
Gambar 4.5 Struktur Dataframe..... 90
Gambar 4.6 Hasil Rezise Gambar..... 91
Gambar 4.7 Hasil Horizontal Flip..... 92
Gambar 4.8 Efek Color Jitter pada Gambar..... 92
Gambar 4.9 Output Verifikasi Batch, Berisi Dimensi, Kanal, dan Distribusi Label..... 93
Gambar 4.10 Distribusi Validation Loss Seluruh Trial 96
Gambar 4.11 Kurva Konvergensi Training Trial 5..... 99
Gambar 4.13 Kurva ROC dan Nilai AUC Trial 5 101