DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
HALAMAN JUDUL ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING iii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI iv
SURAT PERNYATAAN KARYA ASLI TUGAS AKHIR v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI vi
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR MODUL xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Tahapan Penelitian 5
1.7 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN LITERATUR 8
2.1 Aktivitas Manusia 8
2.2 *Human Activity Recognition* (HAR) 8
2.3 *Pose Estimation* 10
2.3.1 MediaPipe 11
2.3.2 YOLO-Pose 12
2.4 *Real-Time* 13
2.5 *Dataset* NTU RGB+D 14
2.6 Augmentasi Data *Skeleton* 15
2.7 *Preprocessing* Data *Skeleton* Menjadi *Heatmap* 18
2.8 *Convolutional Neural Networks* (CNN) 22
2.8.1 *Convolutional Layer* 23
2.8.2 *Batch Normalization* 24
2.8.3 *Pooling Layer* 25
2.8.4 *Activation Function* 26
2.8.5 *Global Average Pooling* (GAP) 27

2.8.6 *Fully Connected Layer* 28
2.8.7 *Softmax* 28
2.9 EfficientNet-Lite 29
2.10 *Evaluation Metrics* 32
2.10.1 *Confussion Matrix* 32
2.10.2 *Accuracy* 33
2.10.3 *Precision* 33
2.10.4 *Recall* 33
2.10.5 *Sensitivity* 33
2.10.6 *Specificity* 34
2.10.7 *F-Score* 34
2.10.8 Jumlah Parameter Model 34
2.10.9 *Floating Point Operations* (FLOPs) 34
2.11 Penelitian Terdahulu 35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 40
3.1 Metode Penelitian 40
3.2 Identifikasi Permasalahan dan Tinjauan Literatur 41
3.3 Pengumpulan Data 41
3.4 Data Preprocessing 43
3.5 Modelling 50
3.5.1 Pembangunan Model 50
3.5.2 Pelatihan Model 52
3.5.3 Konfigurasi Pelatihan Model 58
3.6 Evaluasi Model 59
3.7 Metodologi Pengembangan Sistem 60
3.7.1 *Requirement Gathering* 60
3.7.2 *Design* 61
3.7.3 *Building Prototype (Coding)* 63
3.7.4 Pengujian Sistem 63
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 65
4.1 Hasil 65
4.1.1 Pengumpulan dan pengolahan data 65
4.1.2 Augmentasi data *skeleton* 65
4.1.3 *Preprocessing* data *skeleton* 67
4.1.4 Pengembangan dan Pelatihan Model 69
4.1.5 Evaluasi Model 74
4.2 Implementasi 76

4.3 Pembahasan 80
BAB V PENUTUP 83
5.1 Kesimpulan 83
5.2 Saran 83
DAFTAR PUSTAKA 85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Konfigurasi Letak Sendi MediaPipe 12
Tabel 2.2 Tabel Konfigurasi Letak Sendi YOLO-Pose 13
Tabel 2.3 Tabel Konfigurasi Letak Sendi Dataset NTU RGB-D 15
Tabel 2.4 Block MBConv Pada EfficientNet-Lite 30
Tabel 2.5 Tabel Confussion Matrix 33
Tabel 2.6 *State of The Art* 36
Tabel 2.7 *State of The Art* (Lanjutan) 37
Tabel 3.1 Pemetaan Keypoints NTU RGB+D, MediaPipe, dan YOLO-Pose 42
Tabel 3.2 Titik Joint yang Dipilih 42
Tabel 3.3 Parameter preprocessing 43
Tabel 3.4 Tabel Data Skeleton 44
Tabel 3.5 Data Setelah Dilakukan Uniform Sampling 46
Tabel 3.6 Hasil Subject Centered Cropping 47
Tabel 3.7 Hasil Resize 48
Tabel 3.8 EfficientNet-Lite 51
Tabel 3.9 EfficientNet-Lite yang Dimodifikasi 51
Tabel 3.10 Nilai Pixel Dalam Sampel Heatmap 53
Tabel 3.11 Hasil Normalization 56
Tabel 3.12 Hasil Akhir Komponen Stem 57
Tabel 3.13 Hasil Perhitungan Fully Connected Layer 58
Tabel 3.14 Nilai Probabilitas Setiap Kelas 58
Tabel 3.15 Hyperparameter yang Dioptimasi 59
Tabel 3.16 Hyperparameter Default 59
Tabel 3.17 Susunan Confussion matrix 59
Tabel 3.18 Perbandingan Model Dengan Baseline 60
Tabel 3.19 Kebutuhan Hardware 61
Tabel 3.20 Kebutuhan Software 61
Tabel 3.21 Rencana Pengujian Sistem 64
Tabel 4.1 Hasil *Split* Data 65
Tabel 4.2 Jumlah Data Tiap Kelas 65
Tabel 4.3 Hasil Pelatihan Model Pada *Dataset* dan Nilai *Preprocessing* 70
Tabel 4.4 Hasil Pelatihan Model Pada *Dataset* dan Nilai *Preprocessing* (Lanjutan) 71
Tabel 4.5 Hasil Pelatihan Model Dengan Nilai *Hyperparameter* Berbeda 71
Tabel 4.6 Hasil Perbandingan Model *Baseline* 73
Tabel 4.7 Metriks Evaluasi Tiap Kelas 75
Tabel 4.8 Tabel Evaluasi FPS (*Frame Per Second*) 77
Tabel 4.9 Perbandingan MediaPipe dan YOLO 78
Tabel 4.10 Metrik Evaluasi Tiap Kelas (MediaPipe) 79
Tabel 4.11 Metrik Evaluasi Tiap Kelas (YOLOv8n) 79
Tabel 4.12 Tabel Pengujian Sistem 79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi Sendi MediaPipe Pose (Google, 2026) 11
Gambar 2.2 Konfigurasi Sendi NTU RGB+D (Shahroudy et al., 2016) 14
Gambar 2.3 Joint Occlusion Augmentation 16
Gambar 2.4 Gaussian Noise Augmentation 16
Gambar 2.5 Horizontal Flip Augmentation..... 17
Gambar 2.6 Temporal Crop Augmentation 17
Gambar 2.7 Komponen CNN (Mustafa Taye, 2023) 22
Gambar 2.8 Ilustrasi Convolutional Layer (Zhao et al., 2024) 23
Gambar 2.9 Ilustrasi Pooling Layer (Zhao et al., 2024) 25
Gambar 2.10 EfficientNet-B0 (Tan & Le, 2019) 29
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian 40
Gambar 3.2 Hasil Proses Uniform Sampling..... 45
Gambar 3.3 Hasil Proses Subject Centered Cropping 47
Gambar 3.4 Hasil Proses Resize 49
Gambar 3.5 Hasil Proses Pembuatan Heatmap..... 50
Gambar 3.6 Sampel Heatmap yang Digunakan 53
Gambar 3.7 Ilustrasi Convolution Layer..... 54
Gambar 3.8 Alur Kerja Sistem..... 62
Gambar 3.9 Desain Tampilan..... 63
Gambar 4.1 Proses Preprocessing 67
Gambar 4.2 Learning Curve Pelatihan Dengan Hyperparameter Default 72
Gambar 4.3 Learning Curve Pelatihan Dengan Hyperparameter Optuna 72
Gambar 4.4 Learning Curve Pelatihan Model EfficientNet-B0..... 73
Gambar 4.5 Learning Curve Pelatihan Model EfficientNet-Lite Lite0 73
Gambar 4.6 Learning Curve Pelatihan Model EfficientNet-Lite Lite0 Modifikasi74
Gambar 4.7 Confussion Matrix Model Terbaik 75
Gambar 4.8 Tampilan Awal Antarmuka Sistem 76
Gambar 4.9 Tampilan Deteksi Aktivitas 77
Gambar 4.10 Confussion Matrix MediaPipe dan YOLO..... 78

DAFTAR MODUL

Modul Program 4.1 Augmentasi *Joint Occlusion* 66
Modul Program 4.2 Augmentasi *Gaussian Noise* 66
Modul Program 4.3 Augmentasi *Horizontal Flip* 66
Modul Program 4.4 Augmentasi *Temporal Skip* 67
Modul Program 4.5 Augmentasi *Uniform Frame Sampling* 68
Modul Program 4.6 Augmentasi *Subject Centered Cropping* 68
Modul Program 4.7 *Preprocessing Resizing* 69
Modul Program 4.8 *Preprocessing Gaussian Heatmap* 69
Modul Program 4.9 Model Efficientnet-Lite 70