

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>3</b>
1.1. Latar Belakang .....	3
1.2. Rumusan Masalah .....	7
1.3. Batasan Masalah.....	7
1.4. Tujuan Penelitian .....	7
1.5. Manfaat Penelitian .....	8
1.6. Kontribusi Penelitian.....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1. Ekstraksi Fitur ( <i>Feature Extraction</i> ).....	9
2.2. Pembelajaran Usia ( <i>Age Learning</i> ).....	16
2.3. Ringkasan <i>Review</i> Artikel Ilmiah.....	22
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	<b>36</b>
3.1. Deteksi Wajah .....	36
3.2. Facial Landmark.....	37
3.3. Histogram of Oriented Gradients (HOG).....	38
3.4. Principal Component Analysis (PCA) .....	43
3.5. Neural Networks (NN).....	44
3.6. Extreme Learning Machine (ELM).....	50
<b>BAB IV METODOLOGI</b> .....	<b>54</b>
4.1. Gambaran Umum .....	54
4.2. Pengumpulan Dataset Citra Wajah .....	58
4.3. Rancangan Algoritma.....	61
4.3.1. Pemrosesan wajah .....	62
4.3.2. Ekstraksi Fitur .....	66
4.3.3. Klasifikasi Kelompok Usia .....	69

4.3.4. Estimasi Usia .....	76
4.4. Rancangan Pengujian .....	81
4.4.1. Evaluasi Hasil Klasifikasi Kelompok Usia.....	82
4.4.2. Evaluasi Hasil Estimasi Usia .....	83
4.5. Peralatan .....	84
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN KLASIFIKASI KELOMPOK USIA .....</b>	<b>85</b>
5.1. Hasil penyelarasan citra wajah.....	85
5.2. Evaluasi Klasifikasi Kelompok Usia .....	86
5.2.1. Pengaruh Ukuran Citra terhadap Klasifikasi .....	89
5.2.2. Pengaruh Nilai sel dan <i>bin</i> HOG terhadap Klasifikasi .....	90
5.2.2. Pengaruh Nilai <i>dropout</i> terhadap Klasifikasi.....	91
5.2.3. Pengaruh PCA terhadap Klasifikasi.....	92
5.2.4. Evaluasi Klasifikasi Kelompok Usia dengan hiperparameter terbaik ..	93
5.2.5. Perbandingan metode yang diusulkan dengan penelitian lainnya .....	96
5.2.6. Diskusi keterbatasan metode yang diusulkan .....	100
<b>BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN ESTIMASI USIA .....</b>	<b>103</b>
6.1. Estimasi usia pada dataset MORPH-II.....	103
6.2. Estimasi usia pada dataset FG-NET.....	107
6.3. Pengujian dengan data primer orang Indonesia .....	111
6.4. Diskusi keterbatasan metode yang diusulkan .....	112
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>117</b>
7.1. Kesimpulan .....	117
7.2. Saran.....	118
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>120</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Proses deteksi manusia berbasis HOG (Dalal dan Triggs, 2004). ...	36
Gambar 3. 2. Visualisasi 68 titik facial landmark dari iBUG 300-W dataset. ....	38
Gambar 3. 3. Sel dan blok dalam algoritma HOG. Setiap sel didefinisikan sebagai luas 8×8 piksel dan setiap blok mencakup empat sel yang berdekatan. Blok memiliki tumpang tindih dengan blok tetangganya (Hemmati dkk., 2014). ....	39
Gambar 3. 4. Model penghitungan arah dan besar gradien pada sebuah sel 8×8 (Mallick, 2016) .....	40
Gambar 3. 5. Ilustrasi penghitungan HOG (Mallick, 2016) .....	40
Gambar 3. 6. (a) Ilustrasi 9 bin dan histogram HOG untuk sebuah sel (b) ilustrasi HOG untuk sebuah citra dengan N sel.....	42
Gambar 3. 7. Model dari sebuah <i>neuron</i> . Notasi <i>l</i> menunjukkan sebuah lapisan dari <i>multilayer network</i> (Gonzalez dan Woods, 2018). ....	45
Gambar 3. 8. Model dari <i>full connected layer</i> (Gonzalez dan Woods, 2018).....	46
Gambar 3. 9. Perbandingan antara JST klasifikasi standard dan JST <i>ordinal regression</i> (Cheng dkk., 2008) .....	49
Gambar 3. 10. Arsitektur Extreme Learning Machine (Duan dkk., 2018b) .....	51
Gambar 4. 1. Tahapan penelitian estimasi usia.....	54
Gambar 4. 2. Ilustrasi gabungan klasifikasi dan regresi untuk estimasi usia.....	55
Gambar 4. 3. Arsitektur proses estimasi usia.....	56
Gambar 4. 4. Contoh gambar wajah dataset : (a) FG-NET (b) MORPH-II.....	59
Gambar 4. 5. Pemrosesan wajah dengan gambar: (a) gambar asli dengan wajah sudah terdeteksi, (b) gambar wajah terfokus dan sudah diselaraskan. ...	62
Gambar 4. 6. Penghitungan besar sudut putar gambar wajah .....	63
Gambar 4. 7. Ilustrasi rasio jarak antara mata dengan batas gambar, L= pusat mata kiri, C=pusat kedua mata, R=pusat mata kanan.....	65
Gambar 4. 8. Alur proses pemrosesan citra wajah.....	66
Gambar 4. 9. Proses ekstraksi fitur (a) citra wajah berwarna, (b) citra wajah <i>grayscale</i> , (c) vector fitur HOG .....	66

Gambar 4. 10. Diagram alir ekstraksi fitur .....	69
Gambar 4. 11. Desain jaringan OR-NN .....	72
Gambar 4. 12. Tahap pelatihan dan pengujian jaringan OR-NN untuk klasifikasi kelompok usia .....	75
Gambar 4. 13. Ilustrasi <i>age stride</i> pada kelompok usia .....	77
Gambar 4. 14. ilustrasi proses estimasi usia. ....	79
Gambar 4. 15. Tahap pelatihan dan pengujian estimasi usia baik dengan Reg-ELM atau Reg-NN .....	80
Gambar 4. 16. Proses evaluasi dengan teknik cross-validation (Scikit-learn, 2025) .....	82
Gambar 5. 1. Citra wajah dataset FG-NET yang gagal diproses. ....	85
Gambar 5. 2. Confusion matrix untuk dataset MORPH-II .....	95
Gambar 5. 3. Confusion matrix untuk dataset FG-NET .....	95
Gambar 5. 4. Contoh hasil klasifikasi kelompok usia MORPH-II. ....	101
Gambar 5. 5. Contoh hasil klasifikasi kelompok usia FG-NET. ....	102
Gambar 6. 1. Nilai <i>cumulative score</i> estimasi usia dataset MORPH-II untuk ukuran 100×100 dengan nilai sel HOG 4×4, dengan model ELM dan Reg-NN. ....	105
Gambar 6. 2. Nilai <i>Cumulative Error Score</i> estimasi usia dataset FG-NET dengan model Reg-NN dan Reg-ELM.....	110
Gambar 6. 3. Contoh gambar dataset orang indonesia.....	111
Gambar 6. 4. Confusion matrix untuk dataset pengujian orang indonesia .....	111

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbandingan Berbagai Teknik Estimasi Usia (Osman dan Yap, 2019) .....	21
Tabel 2. 2. Ringkasan review artikel ilmiah .....	24
Tabel 4. 1. Parameter yang digunakan tahap klasifikasi OR-NN dan regresi reg-ELM dan reg-NN. ....	58
Tabel 4. 2. Distribusi dataset MORPH-II berdasar jenis kelamin dan suku/ras. ...	59
Tabel 4. 3. Properti dataset wajah public yang akan digunakan .....	60
Tabel 4. 4. Pembagian kelompok usia untuk dataset FG-NET dan MORPH-II (Sawant dan Bhurchandi, 2019).....	61
Tabel 4. 5. Variasi ukuran pixel, sel dan bin fitur HOG yang akan diteliti berdasar Huerta dkk., (2015) .....	67
Tabel 4. 6. Ukuran besar vector HOG .....	68
Tabel 4. 7. Properti dari jaringan OR-NN untuk klasifikasi kelompok usia.....	73
Tabel 4. 8. Kode data target pelatihan OR-NN untuk klasifikasi kelompok usia berjumlah 4 kelompok usia dan 3 buah <i>binary classifier</i> . ....	74
Tabel 4. 9. Properti jaringan ELM .....	78
Tabel 4. 10. Properti jaringan Reg-NN .....	78
Tabel 4. 11. Skenario pengujian.....	82
Tabel 5. 1. Rekapitulasi hasil pemrosesan citra wajah. ....	85
Tabel 5. 2. Jumlah data training dan testing untuk dataset FG-NET dan MORPH-II. ....	86
Tabel 5. 3 Rekapitulasi hasil klasifikasi kelompok usia dataset MORPH-II dengan variasi ukuran citra, besar sel HOG 4×4, dan dropout 0.....	89
Tabel 5. 4. Rekapitulasi hasil klasifikasi kelompok usia dataset FG-NET dengan variasi ukuran citra, besar sel HOG 4×4, dan dropout 0.....	89
Tabel 5. 5. Rekapitulasi hasil akurasi kelompok usia beserta jumlah fitur untuk dataset MORPH-II dengan citra berukuran 100×100 dan dropout bernilai 0. Bagian (a) akurasi hasil (b) jumlah fitur .....	90

Tabel 5. 6. Rekapitulasi hasil klasifikasi kelompok usia dataset FG-NET ukuran citra 100×100 dengan variasi nilai sel dan bin HOG.....	91
Tabel 5. 7. Rekapitulasi hasil akurasi kelompok usia dataset MORPH-II dengan citra berukuran 100×100, ukuran sel HOG 4×4 dan variasi nilai <i>dropout</i> dan nilai bin.....	92
Tabel 5. 8. Rekapitulasi hasil akurasi kelompok usia dataset FG-NET dengan citra berukuran 100×100, ukuran sel HOG 4×4 dan variasi nilai <i>dropout</i> dan nilai bin. ....	92
Tabel 5. 9. Rekapitulasi hasil klasifikasi kelompok usia MORPH-II dengan reduksi fitur PCA, ukuran citra 100×100, ukuran sel HOG 4×4, dropout 0,0. ...	93
Tabel 5. 10. Rangkuman hiperparameter terbaik untuk proses klasifikasi. ....	94
Tabel 5. 11. Rekapitulasi pengujian dengan <i>hiperparameter</i> optimum dengan dataset MORPH-II, ukuran citra 100×100, sel 4×4, dan dropout 0.....	95
Tabel 5. 12. Rekapitulasi akurasi klasifikasi dataset FG-NET, ukuran citra 100×100, sel 4×4, dan dropout 0. ....	95
Tabel 5. 13. Perbandingan hasil klasifikasi kelompok usia dengan penelitian lainnya .....	97
Tabel 5. 14. Perbandingan detil hasil klasifikasi dengan dataset MORPH-II.....	98
Tabel 5. 15. Perbandingan detil hasil klasifikasi dengan dataset FG-NET.....	99
Tabel 6. 1. Hasil testing MAE estimasi usia dataset MORPH-II untuk ukuran 100×100 dengan nilai sel HOG 4×4, variasi nilai <i>bin</i> HOG dan <i>age stride</i> dengan model Reg-NN .....	103
Tabel 6. 2. Hasil testing MAE estimasi usia dataset MORPH-II untuk ukuran 100×100 dengan nilai sel HOG 4×4, variasi nilai <i>bin</i> HOG dan <i>age stride</i> dengan model Reg-ELM.....	104
Tabel 6. 3. Hasil MAE estimasi usia dataset MORPH-II per kelompok usia dengan ukuran 100×100, nilai sel HOG 4×4, dengan model reg-NN dan reg-ELM .....	104
Tabel 6. 4. Perbandingan hasil estimasi usia dengan penelitian lainnya dengan dataset MORPH-II .....	106

Tabel 6. 5. Hasil testing MAE estimasi usia dataset FG-NET untuk ukuran 100×100 dengan nilai sel HOG 4×4, variasi nilai <i>bin</i> HOG dan <i>age stride</i> dengan model Reg-NN .....	108
Tabel 6. 6. Hasil testing MAE estimasi usia dataset FG-NET untuk ukuran 100×100 dengan nilai sel HOG 4×4, variasi nilai <i>bin</i> HOG dan <i>age stride</i> dengan model Reg-ELM .....	108
Tabel 6. 7. Hasil MAE estimasi usia dataset FG-NET per kelompok usia dengan ukuran 100×100, nilai sel HOG 4×4, dengan model reg-NN dan reg-ELM .....	109
Tabel 6. 8. Perbandingan hasil estimasi usia dengan penelitian lainnya dengan dataset FG-NET .....	110
Tabel 6. 9. Hasil estimasi usia dengan data primer orang indonesia .....	112
Tabel 6. 10. Contoh hasil estimasi usia di dataset MORPH-II dengan etnis kaukasia (eropa).....	113
Tabel 6. 11. Contoh hasil estimasi usia di dataset MORPH-II dengan etnis afrika-amerika.....	114
Tabel 6. 12. Contoh hasil estimasi usia di dataset FG-NET .....	115