

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>PRAKATA</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiii</b>
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	4
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	5
1.3.1. Tujuan	5
1.3.2. Manfaat	5
1.4. Tinjauan Pustaka	5
1.5. Metodologi Penelitian	9
1.6. Sistematika Penulisan	9
<b>II LANDASAN TEORI</b>	<b>11</b>
2.1. AI Generatif	11
2.2. Citra Digital	12
2.3. <i>Machine Learning</i>	13
2.3.1. Jenis-Jenis <i>Machine Learning</i>	14
2.4. <i>Artificial Neural Network</i>	15
2.4.1. Komponen <i>Neural Network</i>	15
2.4.2. <i>Hyperparameter</i>	19
2.4.3. Fungsi Aktivasi	21
2.4.4. <i>Loss Function</i>	25
2.4.5. <i>Gradient Descent</i>	26
2.4.6. <i>Adaptive Moment Estimation (Adam) Optimizer</i>	28
2.5. Analisis Klasifikasi	31
2.5.1. Metrik Evaluasi Performa	31

<b>III KLASIFIKASI DATA CITRA MENGGUNAKAN MODEL TRANSFORMER</b>	<b>35</b>
3.1. <i>Transformer</i>	35
3.1.1. <i>Representasi Input</i>	37
3.1.2. <i>Positional Encoding</i>	38
3.1.3. <i>Attention Mechanism</i>	40
3.1.4. <i>Residual Connections</i>	45
3.1.5. <i>Layer Normalization</i>	46
3.1.6. <i>Feedforward Network</i>	47
3.2. <i>Vision Transformer (ViT)</i>	47
3.2.1. <i>Patch Embedding</i>	49
3.2.2. <i>Multi-Layer Perceptron (MLP) Head</i>	50
3.3. <i>Swin Transformer</i>	51
3.3.1. <i>Hierarchical Feature Maps</i>	52
3.3.2. <i>Swin Transformer Blocks</i>	54
3.4. <i>Data-Efficient Image Transformer (DeiT)</i>	59
3.4.1. <i>Knowledge Distillation</i>	60
3.4.2. <i>Distillation Token</i>	62
3.5. <i>Transfer Learning</i>	63
3.6. <i>Alur Analisis</i>	65
<b>IV STUDI KASUS</b>	<b>67</b>
4.1. <i>Deskripsi Data</i>	67
4.2. <i>Prapemrosesan dan Augmentasi Data</i>	68
4.3. <i>Penyesuaian Hyperparameter</i>	70
4.4. <i>Klasifikasi Menggunakan Model Transformer</i>	71
4.4.1. <i>Vision Transformer (ViT)</i>	71
4.4.2. <i>Swin Transformer</i>	77
4.4.3. <i>Data-Efficient Image Transformer (DeiT)</i>	83
4.5. <i>Perbandingan Performa Model</i>	89
4.6. <i>Implementasi Model Terbaik</i>	92
<b>V PENUTUP</b>	<b>98</b>
5.1. <i>Kesimpulan</i>	98
5.2. <i>Saran</i>	99
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>101</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>109</b>

## DAFTAR TABEL

2.1	<i>Confusion Matrix</i> . . . . .	32
4.1	Distribusi dataset . . . . .	68
4.2	Parameter augmentasi . . . . .	70
4.3	Nilai <i>hyperparameter</i> . . . . .	71
4.4	Varian model <i>pre-trained</i> ViT . . . . .	72
4.5	Hasil klasifikasi model ViT . . . . .	72
4.5	Hasil klasifikasi model ViT . . . . .	73
4.6	Statistik deskriptif hasil klasifikasi model ViT . . . . .	74
4.7	Varian model <i>pre-trained Swin Transformer</i> . . . . .	78
4.8	Hasil klasifikasi model <i>Swin Transformer</i> . . . . .	78
4.8	Hasil klasifikasi model <i>Swin Transformer</i> . . . . .	79
4.9	Statistik deskriptif hasil klasifikasi model <i>Swin Transformer</i> . . . . .	80
4.10	Varian model <i>pre-trained</i> DeiT . . . . .	84
4.11	Hasil klasifikasi model DeiT . . . . .	84
4.11	Hasil klasifikasi model DeiT . . . . .	85
4.12	Statistik deskriptif hasil klasifikasi model DeiT . . . . .	86
4.13	Perbandingan performa model terbaik . . . . .	92
4.14	<i>Confusion matrix</i> model terbaik pada data uji . . . . .	93

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Contoh gambar yang dihasilkan oleh model AI generatif DALL-E, Stable Diffusion, dan MidJourney . . . . .	12
2.2	Representasi piksel dan komponen RGB pada citra digital . . . . .	13
2.3	Struktur neuron pada manusia . . . . .	15
2.4	Struktur neuron pada ANN . . . . .	17
2.5	Grafik fungsi aktivasi <i>sigmoid</i> . . . . .	21
2.6	Grafik fungsi aktivasi <i>tanh</i> . . . . .	22
2.7	Grafik fungsi aktivasi ReLU . . . . .	23
2.8	Grafik fungsi aktivasi GELU . . . . .	24
2.9	Grafik fungsi aktivasi <i>softmax</i> . . . . .	24
2.10	Ilustrasi fungsi aktivasi <i>softmax</i> . . . . .	25
2.11	Ilustrasi penggunaan <i>gradien descent</i> untuk mencari titik minimum dari fungsi . . . . .	27
2.12	Ilustrasi pengaruh nilai <i>learning rate</i> . . . . .	28
3.1	Arsitektur <i>Transformer</i> . . . . .	36
3.2	Ilustrasi tokenisasi . . . . .	37
3.3	Ilustrasi proses <i>embedding</i> . . . . .	38
3.4	Ilustrasi <i>positional encoding</i> . . . . .	39
3.5	<i>Attention mechanism</i> dalam pemrosesan informasi visual . . . . .	40
3.6	Proses perhitungan <i>self-attention</i> . . . . .	43
3.7	Arsitektur <i>multi-head attention</i> . . . . .	44
3.8	Ilustrasi mekanisme <i>multi-head attention</i> dalam pemrosesan informasi visual . . . . .	44
3.9	Ilustrasi <i>residual connections</i> . . . . .	45
3.10	<i>Feedforward network</i> dalam <i>transformer</i> . . . . .	47
3.11	Arsitektur <i>Vision Transformer (ViT)</i> . . . . .	48
3.12	Ilustrasi pembagian citra menjadi <i>patch</i> berukuran $14 \times 14$ . . . . .	49
3.13	Arsitektur <i>Swin Transformer</i> . . . . .	52
3.14	Ilustrasi <i>patch partition</i> . . . . .	52
3.15	Ilustrasi <i>patch merging</i> . . . . .	53
3.16	Ilustrasi <i>hierarchical feature maps</i> . . . . .	54
3.17	Arsitektur <i>Swin Transformer Blocks</i> . . . . .	55

3.18	Perbandingan <i>window-based self attention</i> dan <i>global self attention</i> .	56
3.19	Ilustrasi <i>shifted window</i> . . . . .	57
3.20	Ilustrasi <i>image padding</i> . . . . .	58
3.21	Ilustrasi <i>cyclic shift</i> . . . . .	58
3.22	Arsitektur DeiT . . . . .	63
3.23	Ilustrasi konsep <i>transfer learning</i> . . . . .	64
3.24	Alur analisis penelitian . . . . .	66
4.1	Contoh citra kelas asli . . . . .	68
4.2	Contoh citra kelas AI . . . . .	68
4.3	Contoh citra hasil prapemrosesan dan augmentasi . . . . .	70
4.4	Distribusi performa model ViT berdasarkan <i>learning rate</i> . . . . .	75
4.5	Distribusi performa model ViT berdasarkan <i>batch size</i> . . . . .	75
4.6	Persebaran nilai <i>recall</i> dan <i>specificity</i> model ViT . . . . .	76
4.7	Persebaran performa berdasarkan varian model ViT . . . . .	77
4.8	Distribusi performa model <i>Swin Transformer</i> berdasarkan <i>learning rate</i> . . . . .	81
4.9	Distribusi performa model <i>Swin Transformer</i> berdasarkan <i>batch size</i> . . . . .	81
4.10	Persebaran nilai <i>recall</i> dan <i>specificity</i> model <i>Swin Transformer</i> . . . . .	82
4.11	Persebaran performa berdasarkan varian model <i>Swin Transformer</i> . . . . .	83
4.12	Distribusi performa model DeiT berdasarkan <i>learning rate</i> . . . . .	87
4.13	Distribusi performa model DeiT berdasarkan <i>batch size</i> . . . . .	87
4.14	Persebaran nilai <i>recall</i> dan <i>specificity</i> model DeiT . . . . .	88
4.15	Persebaran performa berdasarkan varian model DeiT . . . . .	89
4.16	Distribusi performa model <i>transformer</i> . . . . .	90
4.17	Persebaran <i>recall</i> dan <i>specificity</i> model <i>transformer</i> . . . . .	91
4.18	Contoh citra dengan hasil prediksi benar . . . . .	94
4.19	Contoh citra dengan hasil prediksi salah . . . . .	94
4.20	Histogram distribusi probabilitas prediksi model . . . . .	95
4.21	Performa model terhadap <i>threshold</i> . . . . .	96