**DAFTAR ISI**

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 ..... xv
BAB I PENDAHULUAN ..... 1
1.1 Latar Belakang Masalah ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 3
1.3 Batasan Masalah ..... 3
1.4 Tujuan Penelitian ..... 4
1.5 Manfaat Penelitian ..... 4
1.6 Tahapan Penelitian ..... 4
1.7 Sistematika Penulisan ..... 5
BAB II TINJAUAN LITERATUR ..... 7
2.1 Citra Digital ..... 7
2.1.1 Ruang Warna RGB ..... 7
2.1.2 Augmentasi Citra ..... 8
2.2 Citra Asli dan Dataset ImageNet ..... 9
2.3 Citra Generatif Kecerdasan Buatan ..... 10
2.3.1 Perbedaan Citra Asli dan Citra Kecerdasan Buatan ..... 11
2.3.2 Generative Adversarial Network (GAN) ..... 12
2.3.3 Diffusion Model ..... 14
2.3.4 Generator dalam Dataset Penelitian ..... 16
2.4 Vision Transformer ..... 17
2.4.1 Patch Embedding ..... 19
2.4.2 Positional Encoder ..... 20
2.4.3 Scaled Dot-Product Attention ..... 21
2.4.4 Multi-Head Self-Attention (MHSA) ..... 21
2.4.5 Transformer Encoder Block ..... 22
2.4.6 Classification Head ..... 22
2.5 Transfer Learning dan Fine-Tuning ..... 23
2.5.1 Partial Freezing ..... 26

2.5.2 Focal Loss ..... 27
2.6 Parameter dan *Hyperparameter* Pelatihan ..... 29
2.6.1 Optimizer: AdamW ..... 30
2.6.2 Learning Rate Scheduler: Cosine Annealing dengan Linear Warmup ..... 30
2.7 Konfigurasi Pelatihan Model ..... 31
2.7.1 Mixed Precision Training (AMP) ..... 31
2.7.2 Penanganan Ketidakseimbangan Kelas ..... 31
2.7.3 Protokol Pembagian Dataset ..... 32
2.8 Metode Penggabungan Komponen *Fine-Tuning* ..... 33
2.9 Metrik Evaluasi ..... 34
2.9.1 Confusion Matrix ..... 35
2.9.2 Metrik Berbasis *Threshold* ..... 36
2.9.3 Metrik Probabilistik dan *Ranking* ..... 37
2.10 State of the Art ..... 38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 40
3.1 Pengumpulan Data ..... 42
3.1.1 Sumber Dataset ..... 42
3.1.2 Pembagian Kelas dan Karakteristik Generator AI ..... 44
3.1.3 Protokol Pembagian Data ..... 44
3.2 Prapemrosesan Data ..... 46
3.2.1 Pemuatan Citra ..... 47
3.2.2 Transformasi dan Augmentasi Data ..... 47
3.2.3 Normalisasi Citra dan Konversi Tensor ..... 50
3.3 Perancangan Model ..... 50
3.3.1 Inisiasi Arsitektur ViT-Base/16 ..... 52
3.3.2 Komputasi Patch Embedding pada Data Masukan ..... 53
3.3.3 Komputasi Mekanisme Multi-Head Self-Attention ..... 55
3.3.4 Modifikasi Classification Head ..... 56
3.3.5 Perhitungan Manual Aliran *Forward Pass* ..... 57
3.4 Skenario *Fine-Tuning* dan Optimasi Pelatihan ..... 63
3.4.1 Desain Skenario Studi Ablasi ..... 64
3.4.2 Komputasi Penanganan Ketidakseimbangan Kelas ..... 65
3.4.3 Implementasi dan Perhitungan *Partial Freezing* ..... 66
3.4.4 Komputasi Optimasi *Focal Loss* ..... 68
3.4.5 Komputasi Optimasi dan Penjadwalan Laju Pembelajaran ..... 70
3.5 Evaluasi dan Pengukuran Kinerja Model ..... 71

3.5.1 Protokol Evaluasi Kelompok Layer ..... 73
3.6 Rancangan Pengujian Penentuan Parameter Terbaik ..... 77
3.6.1 Pengujian Kedalaman Partial Freezing ..... 77
3.6.2 Pengujian Nilai Alpha pada Focal Loss ..... 77
3.6.3 Hyperparameter ..... 78
3.7 Lingkungan Komputasi dan Kebutuhan Sistem ..... 79
3.7.1 Kebutuhan Perangkat Keras ..... 79
3.7.2 Kebutuhan Perangkat Lunak ..... 80
3.8 Perancangan Antarmuka ..... 80
3.9 Rancangan Pengujian Sistem ..... 82
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN ..... 83
4.1 Implementasi ..... 83
4.1.1 Pengumpulan Data dan Persiapan Lingkungan ..... 83
4.1.2 Pra-pemrosesan Data ..... 86
4.1.3 Pembuatan Model Baseline ..... 87
4.1.4 Pembuatan Model Usulan ..... 90
4.2 Hasil ..... 92
4.2.1 Hasil Konfigurasi S1-Baseline (Full Fine-Tuning + CE Loss) ..... 93
4.2.2 Hasil Konfigurasi S2-Partial Freezing (PF4, PF6, PF8) ..... 94
4.2.3 Hasil Konfigurasi S3-Full Fine-Tuning dengan Focal Loss (S3_FLOnly) 99
4.2.4 Hasil Konfigurasi S4-Partial Freezing dan Focal Loss (S4_BestPF_FL) 101
4.2.5 Rekapitulasi Hasil Keseluruhan ..... 104
4.2.6 Tampilan Sistem Pengujian ..... 111
4.2.7 Skenario Pengujian Sistem ..... 113
4.3 Pembahasan ..... 120
4.3.1 Pengaruh Partial Freezing ..... 120
4.3.2 Pengaruh Focal Loss ..... 121
BAB V PENUTUP ..... 122
5.1 Kesimpulan ..... 122
5.2 Saran ..... 122
DAFTAR PUSTAKA ..... 124