# 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 ..... xiv
BAB I PENDAHULUAN ..... 1
1.1. Latar Belakang Masalah ..... 1
1.2. Rumusan Masalah ..... 3
1.3. Batasan Masalah ..... 3
1.4. Tujuan Penelitian ..... 3
1.5. Manfaat Penelitian ..... 4
1.6. Tahapan Penelitian ..... 4
1.7. Sistematika Penulisan ..... 6
BAB II TINJAUAN LITERATUR ..... 7
2.1. Uang Kertas ..... 7
2.2. Cara Mengamati Uang Asli atau Palsu ..... 7
2.2.1. Dilihat ..... 7
2.2.2. Diraba ..... 8
2.2.3. Diterawang ..... 9
2.3. Pengolahan Citra Digital ..... 10
2.4. Citra Digital ..... 10
2.5. Machine Learning ..... 12
2.6. Deep Learning ..... 12
2.7. Metode Convolutional Neural Network (CNN) ..... 13
2.8. Langkah-Langkah Pelatihan Model CNN ..... 14
2.8.1. Inisialisasi Model dan Transfer Learning ..... 14
2.8.2. Proses Forward Propagation ..... 14
2.8.3. Evaluasi Loss dan Backpropagation ..... 14
2.8.4. Siklus Pelatihan (Epochs dan Pengendalian) ..... 15
2.9. Data Augmentasi ..... 15
2.9.1. Rotasi (Rotation) ..... 15
2.9.2. Flipping (Pembalikan) ..... 16
2.9.3. Zooming (Perbesaran) ..... 16
2.9.4. Brightness (Kecerahan) ..... 17
2.9.5. Translasi (Translation) ..... 17

2.9.6. Convolutional Block Attention Module (CBAM) ..... 18
2.9.7. Klasifikasi Multi-Output (Multi-Task Learning) ..... 19
2.10. Matrik Evaluasi ..... 19
2.10.1. Precision and Recall ..... 19
2.10.2. Accuracy ..... 20
2.10.3. F1-Score ..... 20
2.11. Tinjauan Literatur ..... 20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 24
3.1. Pengumpulan Data ..... 25
3.1.1. Sumber Data ..... 25
3.1.2. Peralatan Akuisisi Data ..... 25
3.1.3. Teknik Akuisisi Data ..... 26
3.2. Pra-pemrosesan Data ..... 27
3.2.1. Organisasi Data dan Pembagian Kelas ..... 27
3.2.2. Pembagian Dataset ..... 28
3.2.3. Resizing Gambar ..... 28
3.2.4. Normalisasi Piksel ..... 28
3.2.5. Augmentasi Data (Data Augmentation) ..... 28
3.3. Arsitektur Model CNN ..... 29
Penyesuaian Arsitektur: CBAM dan Multi-Output ..... 32
3.4. Hyperparameter Model ..... 33
3.4.1. Pengujian Model ..... 34
3.5. Evaluasi Model ..... 35
3.6. Metode Pengembangan Sistem ..... 36
3.6.1. Analisis Kebutuhan (Requirements Analysis) ..... 37
3.6.2. Perancangan Sistem (System Design) ..... 38
3.6.3. Implementasi Sistem (System Implementation) ..... 39
3.6.4. Pengujian Sistem (System Testing) ..... 39
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN ..... 41
4.1. Implementasi Sistem ..... 41
4.1.1. Pembagian Dataset ..... 42
4.1.2. Pra-Pemrosesan Data ..... 42
4.2. Hasil Pelatihan Model ..... 44
4.2.1. Analisis Kurva Learning ..... 45
4.2.2. Waktu Pelatihan ..... 45
4.3. Hasil Pengujian Model ..... 45
4.3.1. Confusion Matrix ..... 46
4.3.2. Classification Report ..... 47
4.4. Pembahasan ..... 48
4.4.1. Analisis Performa Model ..... 48
4.4.2. Analisis Kesalahan Klasifikasi ..... 49

4.4.3. Pengaruh Pencahayaan Ultraviolet (UV) ..... 51
4.4.4. Pengaruh Data Augmentation..... 51
4.4.5. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu ..... 51
4.4.6. Analisis Computational Efficiency..... 53
4.4.7. Implementasi Sistem (Arsitektur Sistem)..... 53
4.5. Implementasi Model dan Arsitektur CNN ..... 57
4.5.1. Arsitektur EfficientNetB0 yang Diperbaiki..... 57
4.5.2. Training Strategy: 2-Stage Approach ..... 59
4.6. Hasil Pelatihan Model (Multi-Output)..... 61
4.6.1. Konfigurasi Training ..... 61
4.6.2. Training Progress dan Convergence..... 61
4.7. Hasil Pengujian dan Evaluasi Model ..... 62
4.7.1. Final Evaluation Metrics ..... 62
4.7.2. Classification Report Per Kelas..... 63
4.7.3. Confusion Matrix Analysis ..... 65
4.8. Pembahasan Hasil Penelitian ..... 66
4.8.1. Keberhasilan Implementasi Model..... 66
4.8.2. Efektivitas Data Augmentation ..... 66
4.8.3. Pengaruh Strategi 2-Stage Training..... 67
4.8.4. Perbandingan dengan Baseline dan Literature ..... 67
4.8.5. Analisis Failure Cases ..... 68
4.8.6. Efisiensi Komputasi ..... 69
4.8.7. Robustness Analysis..... 70
4.8.8. Implementasi Sistem Web..... 71
BAB V PENUTUP..... 80
5.1. Kesimpulan ..... 80
5.2. Penutup ..... 82
DAFTAR PUSTAKA..... 83

# DAFTAR TABEL

**Tabel 2.1** State of Art ..... 22
**Tabel 2.2** State of Art (lanjutan) ..... 23
**Tabel 3.1** Sumber Data ..... 25
**Tabel 3.2** Proses Hyperparameter Model ..... 33
**Tabel 3.3** Rencana Pengujian Model ..... 34
**Tabel 3.4** Evaluasi Model (Template Confusion Matrix) ..... 35
**Tabel 3.5** Classification Report (Template) ..... 35
**Tabel 3.6** Classification Report (Contoh Terisi T/F) ..... 36
**Tabel 3.7** Tabel Implementasi Sistem ..... 39
**Tabel 3.8** Pengujian Sistem ..... 40
**Tabel 4.1** Komposisi Dataset ..... 42
**Tabel 4.2** Hasil Pelatihan Model EfficientNet-B0 ..... 44
**Tabel 4.3** Confusion Matrix Hasil Pengujian ..... 46
**Tabel 4.4** Classification Report ..... 47
**Tabel 4.5** Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu ..... 51
**Tabel 4.6** Efisiensi Komputasi ..... 53
**Tabel 4.7** Arsitektur Model Lengkap ..... 58
**Tabel 4.8** Training Progress Summary ..... 61
**Tabel 4.9** Final Evaluation Results ..... 62
**Tabel 4.10** Per-Class Performance Metrics ..... 63
**Tabel 4.11** Confusion Matrix (Test Set) ..... 65
**Tabel 4.12** Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu (Lanjutan) ..... 67
**Tabel 4.13** Failure Cases Analysis ..... 68
**Tabel 4.14** Model Efficiency Metrics ..... 69

# DAFTAR GAMBAR

**Gambar 2.1** Rectoverso ..... 8
**Gambar 2.2** Cetak Intaglio (Source: Peruri Indonesia)..... 8
**Gambar 2.3** Kode Tunanetra..... 9
**Gambar 2.4** Watermark pada Mata Uang ..... 9
**Gambar 2.5** Benang Pengaman yang Hanya Terlihat dari Cahaya..... 10
**Gambar 2.6** Koordinat dari Citra Digital (Sumber: Musakkir, 2024)..... 11
**Gambar 2.7** Arsitektur Convolutional Neural Network (CNN)..... 13
**Gambar 2.8** Rotation pada Uang Kertas Seratus Ribu..... 16
**Gambar 2.9** Pembalikan pada Uang Kertas Seratus Ribu Rupiah ..... 16
**Gambar 2.10** Zooming pada Uang Kertas Lima Puluh Ribu Rupiah ..... 17
**Gambar 2.11** Perubahan Kecerahan pada Uang Kertas Lima Puluh Ribu Rupiah ..... 17
**Gambar 2.12** Translasi pada Uang Lima Puluh Ribu Rupiah..... 18
**Gambar 3.1** Flowchart Model Convolutional Neural Network (CNN) ..... 24
**Gambar 3.2** Pencahayaan 20% pada Uang Seratus Ribu Rupiah ..... 26
**Gambar 3.3** Gambar Ultraviolet dari Seratus Ribu Rupiah ..... 27
**Gambar 3.4** Uang Lima Puluh Ribu yang Di-rotate, Brightness, Zoom, Flipping ..... 29
**Gambar 3.5** Arsitektur EfficientNet-B0 (Fajrina, Alfataniah Nur, et al.)..... 30
**Gambar 3.6** Metode Waterfall (Pressman, 2012) ..... 36
**Gambar 3.7** Arsitektur Pengerjaan Sistem Deteksi Uang Palsu ..... 38
**Gambar 4.1** Tahapan Implementasi Sistem ..... 41
**Gambar 4.2** Attention Sample untuk Uang Lima Puluh Ribu Rupiah..... 56
**Gambar 4.3** Attention Sample untuk Uang Seratus Ribu Rupiah..... 56
**Gambar 4.4** Attention Sample Ketiga untuk Uang Lima Puluh Ribu Rupiah ..... 57
**Gambar 4.5** Attention Sample Keempat untuk Uang Lima Puluh Ribu Rupiah ..... 57
**Gambar 4.6** Tampilan Website Deteksi Uang Rupiah..... 71
**Gambar 4.7** Memasukkan File Model yang Telah Di-training..... 71
**Gambar 4.8** Input Mata Uang Seratus Ribu Rupiah ..... 74
**Gambar 4.9** Hasil Deteksi — Mata Uang Terdeteksi Asli..... 75
**Gambar 4.10** Hasil Deteksi — Biji Kopi (Bukan Mata Uang / Tidak Dikenali)..... 77