UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Integrasi Convolutional Block Attention Module dan Auxiliary Segmentation Branch pada ResNet-50 untuk Klasifikasi Biner Microaneurysm dan Lokalisasi Class Activation Map pada Citra Fundus
Muhammad Dzaki Zhafiri, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng.; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR SINGKATAN xvi
INTISARI xvii
ABSTRACT xviii
BAB I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 7
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.1.1 Klasifikasi *Diabetic Retinopathy* berbasis *Deep Learning* 7
2.1.2 Penerapan Mekanisme *Attention* pada Klasifikasi DR 8
2.1.3 *Multi-Task Learning* dan *Auxiliary Branch* untuk DR 10
2.1.4 *Explainability* dengan *Class Activation Map* pada DR 12
2.1.5 Penelitian pada Dataset FGADR 14
2.1.6 Rangkuman 15
2.2 Dasar Teori 18
2.2.1 Diabetes Melitus 18
2.2.2 *Diabetic Retinopathy* 19
2.2.3 *Microaneurysm* 20
2.2.4 Citra Fundus 21
2.2.5 *Machine Learning* dan *Deep Learning* 21
2.2.5.1 *Machine Learning* 21
2.2.5.2 *Deep Learning* 22
2.2.6 *Convolutional Neural Network* (CNN) 23
2.2.6.1 Operasi Konvolusi 23
2.2.6.2 *Stride* dan *Padding* 24

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Integrasi Convolutional Block Attention Module dan Auxiliary Segmentation Branch pada ResNet-50 untuk Klasifikasi Biner Microaneurysm dan Lokalisasi Class Activation Map pada Citra Fundus
Muhammad Dzaki Zhafiri, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng.; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.6.3 Fungsi Aktivasi 25
2.2.6.4 *Pooling* 25
2.2.6.5 *Batch Normalization* 26
2.2.6.6 *Backpropagation* dan *Optimizer* 26
2.2.6.7 Inisialisasi Bobot 27
2.2.6.8 *Transfer Learning* 28
2.2.7 Arsitektur ResNet-50 29
2.2.7.1 *Residual Learning* dan *Skip Connection* 29
2.2.7.2 *Bottleneck Design* 30
2.2.7.3 Arsitekturial ResNet-50 30
2.2.8 *Convolutional Block Attention Module* (CBAM) 30
2.2.8.1 Modul *Channel Attention* 31
2.2.8.2 Modul *Spatial Attention* 32
2.2.9 *Auxiliary Branch* dengan Supervisi Lesi 33
2.2.9.1 Arsitekturial *Auxiliary Branch* 33
2.2.9.2 Fungsi *Loss* Gabungan 34
2.2.10 Fungsi *Loss* 34
2.2.10.1 *Cross-Entropy Loss* 34
2.2.10.2 *Binary Cross-Entropy with Logits Loss* 35
2.2.11 Strategi Penanganan Ketidakseimbangan Kelas 35
2.2.11.1 *Weighted Random Sampling* 35
2.2.11.2 *Class-Weighted Loss* 36
2.2.11.3 *Segmentation Pos-Weight* 36
2.2.12 Augmentasi Data 36
2.2.13 *Learning Rate Scheduling* dan *Early Stopping* 37
2.2.13.1 *Learning Rate Scheduling* 37
2.2.13.2 *Early Stopping* 38
2.2.14 *Class Activation Map* (CAM) 39
2.2.14.1 GradCAM 39
2.2.14.2 GradCAM++ 40
2.2.14.3 HiResCAM 40
2.2.14.4 LayerCAM 41
2.2.14.5 EigenCAM 41
2.2.14.6 EigenGradCAM 41
2.2.14.7 KPCA-CAM 41
2.2.15 Dataset FGADR 42
2.2.16 Metrik Evaluasi 42
2.2.16.1 Metrik Klasifikasi 43
2.2.16.2 Metrik Lokalisasi dan Evaluasi Heatmap 45

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Integrasi Convolutional Block Attention Module dan Auxiliary Segmentation Branch pada ResNet-50 untuk Klasifikasi Biner Microaneurysm dan Lokalisasi Class Activation Map pada Citra Fundus
Muhammad Dzaki Zhafiri, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng.; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3 Analisis Perbandingan Metode 46
2.3.1 Pemilihan Arsitektur *Backbone* 46
2.3.2 Pemilihan Modul *Attention* 47
2.3.3 Penerapan *Auxiliary Branch* 47
2.3.4 Pemilihan Metode CAM 48
2.3.5 Pemilihan Resolusi Masukan 49
2.3.6 Pemilihan Dataset 49
2.3.7 Sintesis 50
2.4 Pertanyaan Tugas Akhir 50
BAB III Metode Penelitian 51
3.1 Alat dan Bahan Tugas akhir 51
3.1.1 Alat Tugas akhir 51
3.1.2 Bahan Tugas akhir 52
3.2 Metode yang Digunakan 53
3.3 Alur Tugas Akhir 53
3.3.1 Persiapan Dataset dan Pelabelan Biner 53
3.3.2 Pembagian Data 55
3.3.3 *Preprocessing* dan Augmentasi Data 56
3.3.3.1 *Preprocessing* 56
3.3.3.2 Augmentasi Data 57
3.3.4 Arsitektur Model 59
3.3.4.1 Skenario 1: *Baseline* 59
3.3.4.2 Skenario 2: *Baseline*+*Auxiliary Segmentation Branch* (AuxSeg) 59
3.3.4.3 Skenario 3: *Baseline*+CBAM 61
3.3.4.4 Skenario 4: *Baseline*+AuxSeg + CBAM 63
3.3.5 Strategi Penanganan *Class Imbalance* 63
3.3.6 Fungsi *Loss* 67
3.3.6.1 Skenario 1 & 3 67
3.3.6.2 Skenario 2 & 4 67
3.3.7 Konfigurasi Pelatihan 68
3.3.7.1 *Learning Rate Scheduler: Warmup + Linear Decay* 69
3.3.7.2 *Early Stopping* 71
3.3.8 Generasi *Heatmap Class Activation Map* 71
3.3.9 Metrik Evaluasi 72
BAB IV Hasil dan Pembahasan 74
4.1 Pengaruh CBAM dan *Auxiliary Segmentation Branch* terhadap Klasifikasi Biner MA 74
4.1.1 Performa Model *Baseline* 75

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Integrasi Convolutional Block Attention Module dan Auxiliary Segmentation Branch pada ResNet-50 untuk Klasifikasi Biner Microaneurysm dan Lokalisasi Class Activation Map pada Citra Fundus
Muhammad Dzaki Zhafiri, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng.; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.1.2 Analisis Pengaruh Modifikasi Arsitektur 77
4.1.2.1 Pengaruh Penambahan AuxSeg 77
4.1.2.2 Pengaruh Penambahan CBAM 78
4.1.2.3 Pengaruh Kombinasi AuxSeg dan CBAM 79
4.1.3 Ringkasan Temuan Performa Klasifikasi Model 80
4.2 Pengaruh Modifikasi Arsitektur terhadap Kualitas Lokalisasi *Heatmap* CAM 82
4.2.1 Evaluasi Kuantitatif Metode CAM pada Model *Baseline* 82
4.2.2 Dampak *Auxiliary Segmentation Branch* terhadap Lokalisasi CAM 84
4.2.3 Dampak CBAM terhadap Lokalisasi CAM 87
4.2.4 Ringkasan Temuan Lokalisasi 87
4.3 Analisis Interaksi *Auxiliary Segmentation Branch* dan CBAM 88
4.3.1 CBAM Tanpa AuxSeg: Paradoks Atensi Tanpa Panduan Spasial .. 88
4.3.2 CBAM Dengan AuxSeg: Efek Protektif 91
4.3.3 Implikasi terhadap Desain Arsitektur 95
4.4 Pengaruh Resolusi Citra Masukan 95
4.4.1 Dampak Resolusi terhadap Klasifikasi 98
4.4.2 Dampak Resolusi terhadap Lokalisasi CAM 99
4.4.3 Resolusi sebagai Prasyarat Deteksi *Microaneurysm* 101
4.4.4 Ringkasan Temuan Pengaruh Resolusi 104
4.5 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 104
4.5.1 Efektivitas CBAM pada Klasifikasi DR 105
4.5.2 *Auxiliary Supervision* untuk Klasifikasi 106
4.5.3 Evaluasi Kuantitatif *Heatmap* CAM pada DR 107
4.5.4 Ringkasan Posisi Penelitian dalam Literatur 108
4.5.5 Analisis Kompleksitas Komputasi 108
4.6 Limitasi Penelitian 109
4.6.1 Keterbatasan Reprodusibilitas 109
4.6.2 Keterbatasan Spesifisitas dan Distribusi Dataset 109
4.6.3 Keterbatasan Arsitektur dan Inisialisasi 109
4.6.4 Keterbatasan Optimasi Hiperparameter 110
4.6.5 Keterbatasan Generalisasi 110
4.6.6 Keterbatasan Cakupan Metode *Explainability* 110
BAB V Kesimpulan dan Saran 112
5.1 Kesimpulan 112
5.1.1 Pengaruh CBAM dan *Auxiliary Segmentation Branch* terhadap Klasifikasi Biner MA 112
5.1.2 Pengaruh Modifikasi Arsitektur terhadap Kualitas Lokalisasi *Heatmap* CAM 112

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Integrasi Convolutional Block Attention Module dan Auxiliary Segmentation Branch pada ResNet-50 untuk Klasifikasi Biner Microaneurysm dan Lokalisasi Class Activation Map pada Citra Fundus
Muhammad Dzaki Zhafiri, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng.; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.3 Analisis Interaksi antara CBAM dan *Auxiliary Segmentation Branch* 113
5.1.4 Pengaruh Resolusi Citra Masukan 113
5.2 Saran 114
5.2.1 Saran Terkait Validasi Statistik 114
5.2.2 Saran Terkait Peningkatan Spesifisitas 114
5.2.3 Saran Terkait Arsitektur dan Inisialisasi 115
5.2.4 Saran Terkait Preservasi Informasi Spasial 115
5.2.5 Saran Terkait *Multi-Task Learning* Lanjutan 115
5.2.6 Saran Terkait Generalisasi 115
DAFTAR PUSTAKA 116
LAMPIRAN L-1
L.1 Source Code Python L-1
L.1.1 dataset.py — Modul Dataset dan Augmentasi L-1
L.1.2 model.py — Definisi Empat Arsitektur Model L-5
L.1.3 train.py — Skrip Pelatihan L-13
L.1.4 eval.py — Skrip Evaluasi Akhir L-22