UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kombinasi XGrad-CAM dan RefineCAM untuk Segmentasi Citra 3D MRI
Lathifah Aulia Nisa, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng. ; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR SINGKATAN xiii
INTISARI xiv
ABSTRACT xv
BAB I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
1.6.1 BAB I. Pendahuluan 5
1.6.2 BAB II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 5
1.6.3 BAB III. Metode Penelitian 5
1.6.4 BAB IV. Hasil dan Pembahasan 5
1.6.5 BAB V. Kesimpulan dan Saran 5
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 6
2.1 Tinjauan Pustaka 6
2.1.1 Evaluasi Kuantitatif Kualitas CAM pada Segmentasi Tumor Otak 6
2.1.2 Penghalusan CAM lewat Agregasi Multi-Lapisan 7
2.1.3 Grad-CAM, XGrad-CAM, dan Metode CAM Lain yang Berkembang Paralel 8
2.2 Dasar Teori 10
2.2.1 Kecerdasan Buatan 10
2.2.2 Deep Learning 10
2.2.3 Convolutional Neural Network (CNN) 11
2.2.3.1 Operasi Konvolusi 11
2.2.3.2 *Pooling* 13
2.2.3.3 Normalisasi 13
2.2.3.4 Inisialisasi Bobot 13

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kombinasi XGrad-CAM dan RefineCAM untuk Segmentasi Citra 3D MRI
Lathifah Aulia Nisa, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng. ; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.4 Citra MRI Otak 14
2.2.5 Segmentasi Citra Medis dan Arsitektur U-Net 15
2.2.5.1 3D U-Net 16
2.2.5.2 Augmentasi Data 18
2.2.5.3 Fungsi *Loss* 19
2.2.5.4 Optimisasi dan Regularisasi 21
2.2.6 Explainable Artificial Intelligence (XAI) 22
2.2.7 Class Activation Mapping (CAM) dan Variannya 23
2.2.7.1 CAM 23
2.2.7.2 Grad-CAM 24
2.2.7.3 XGrad-CAM 26
2.2.8 RefineCAM 28
2.2.8.1 Peta Atribusi pada Tiap Lapisan *Decoder* 30
2.2.8.2 Penyamaan Ukuran Peta Atribusi 30
2.2.8.3 Perkalian sebagai Operasi *AND* dan Batasannya 31
2.2.9 Metrik Evaluasi 33
2.2.9.1 Metrik Evaluasi Segmentasi 33
2.2.9.2 Metrik Evaluasi *Heatmap* 34
2.2.9.3 Uji Normalitas Shapiro-Wilk 37
2.2.9.4 Uji t Berpasangan (*Paired t-test*) 38
2.2.9.5 Uji Wilcoxon *Signed-Rank* 39
2.3 Analisis Perbandingan Metode 40
2.3.1 Pemilihan RefineCAM sebagai Teknik Penghalusan 40
2.3.2 Pemilihan Arsitektur Segmentasi 42
2.3.3 Pemilihan Fungsi *Loss* 42
2.3.4 Pemilihan Metrik Evaluasi 43
2.3.5 Rangkuman 44
2.4 Pertanyaan Tugas Akhir 47
BAB III Metode Penelitian 48
3.1 Alat dan Bahan Tugas Akhir 48
3.1.1 Alat Tugas Akhir 48
3.1.1.1 Perangkat Keras 48
3.1.1.2 Perangkat Lunak 49
3.1.2 Bahan Tugas Akhir 49
3.2 Metode yang Digunakan 50
3.3 Alur Tugas Akhir 51
3.3.1 Persiapan dan Pemuatan Dataset 51
3.3.2 Pembagian Data 51
3.3.3 *Preprocessing* dan Augmentasi Data 52

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kombinasi XGrad-CAM dan RefineCAM untuk Segmentasi Citra 3D MRI
Lathifah Aulia Nisa, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng. ; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3.3.1 *Preprocessing* 52
3.3.3.2 Augmentasi Data 54
3.3.4 Arsitektur Model 3D U-Net 55
3.3.5 Strategi Penanganan *Class Imbalance* 57
3.3.6 Fungsi *Loss* 57
3.3.7 Konfigurasi Pelatihan 58
3.3.8 Implementasi CAM dan Penerapan RefineCAM 59
3.3.9 Metrik Evaluasi 60
3.3.10 Uji Signifikansi Statistik 61
BAB IV Hasil dan Pembahasan 63
4.1 Hasil Pelatihan Model 3D U-Net 63
4.2 Hasil Evaluasi Performa Segmentasi pada Data Uji 65
4.3 Analisis Kualitatif *Class Activation Mapping* (CAM) 67
4.3.1 Penerapan RefineCAM 67
4.4 Evaluasi Kuantitatif Penerapan RefineCAM 72
4.4.1 Uji Signifikansi Statistik Penerapan RefineCAM 73
4.4.2 Ringkasan Temuan 74
BAB V Kesimpulan dan Saran 76
5.1 Kesimpulan 76
5.2 Saran 76
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN L-1

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kombinasi XGrad-CAM dan RefineCAM untuk Segmentasi Citra 3D MRI
Lathifah Aulia Nisa, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng. ; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rangkuman *State-of-the-Art* dan Identifikasi *Research Gap* 44

Tabel 3.1 Konfigurasi augmentasi data 54
Tabel 3.2 Konfigurasi hyperparameter pelatihan 58
Tabel 3.3 Lapisan target ekstraksi CAM 60

Tabel 4.1 Hasil Evaluasi Segmentasi Model 3D U-Net pada Data Uji (34 pasien) 65
Tabel 4.2 Hasil Evaluasi Segmentasi pada Pasien BraTS20_Training_327 66
Tabel 4.3 Evaluasi Kuantitatif DAUC dan IAUC pada Grad-CAM dan XGrad-CAM Sebelum dan Sesudah Penerapan RefineCAM 72
Tabel 4.4 Uji Signifikansi Sebelum dan Sesudah RefineCAM pada Metrik DAUC (H_1: Sesudah $<$ Sebelum, $\alpha = 0{,}05$) 73
Tabel 4.5 Uji Signifikansi Sebelum dan Sesudah RefineCAM pada Metrik IAUC (H_1: Sesudah $>$ Sebelum, $\alpha = 0{,}05$) 73

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kombinasi XGrad-CAM dan RefineCAM untuk Segmentasi Citra 3D MRI
Lathifah Aulia Nisa, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng. ; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Heatmap sebelum dan sesudah RefineCAM 8
Gambar 2.2 Ilustrasi operasi konvolusi 2D 12
Gambar 2.3 Label *semantic segmentation* pada tumor otak 15
Gambar 2.4 Arsitektur U-Net 16
Gambar 2.5 Arsitektur 3D U-Net 17
Gambar 2.6 Penerapan augmentasi data pada citra MRI otak 18
Gambar 2.7 Ilustrasi Class Activation Mapping 24

Gambar 3.1 Blok diagram penelitian 51

Gambar 4.1 Kurva *Training/Validation Loss* dan Dice Validasi per Subregion Tumor selama Pelatihan Model 3D U-Net 64
Gambar 4.2 Hasil Segmentasi (a) *Prediction* dan (b) *Ground Truth* pada Pasien BraTS20_Training_327 66
Gambar 4.3 *Necrotic*: (a) Grad-CAM dan (b) Grad-CAM+RefineCAM..... 68
Gambar 4.4 *Necrotic*: (a) XGrad-CAM dan (b) XGrad-CAM+RefineCAM.... 68
Gambar 4.5 *Edema*: (a) Grad-CAM dan (b) Grad-CAM+RefineCAM 69
Gambar 4.6 *Edema*: (a) XGrad-CAM dan (b) XGrad-CAM+RefineCAM 69
Gambar 4.7 *Enhancing*: (a) Grad-CAM dan (b) Grad-CAM+RefineCAM 70
Gambar 4.8 *Enhancing*: (a) XGrad-CAM dan (b) XGrad-CAM+RefineCAM . 70

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Kombinasi XGrad-CAM dan RefineCAM untuk Segmentasi Citra 3D MRI
Lathifah Aulia Nisa, Anugerah Galang Persada, S.T., M.Eng. ; Prof. Ir. Hanung Adi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR SINGKATAN

AI	=	*Artificial Intelligence*
AMP	=	*Automatic Mixed Precision*
BCE	=	*Binary Cross-Entropy*
CAM	=	*Class Activation Mapping*
CNN	=	*Convolutional Neural Network*
DAUC	=	*Deletion Area Under the Curve*
DSC	=	*Dice Similarity Coefficient*
ET	=	*Enhancing Tumor*
FLAIR	=	*Fluid Attenuated Inversion Recovery*
GAP	=	*Global Average Pooling*
GPU	=	*Graphics Processing Unit*
HGG	=	*High-Grade Glioma*
IAUC	=	*Insertion Area Under the Curve*
LGG	=	*Low-Grade Glioma*
MRI	=	*Magnetic Resonance Imaging*
RAM	=	*Random Access Memory*
ReLU	=	*Rectified Linear Unit*
SSD	=	*Solid State Drive*
SSH	=	*Secure Shell*
SSP	=	Sistem Saraf Pusat
T1	=	*T1-weighted*
T1ce	=	*T1-weighted contrast-enhanced*
T2	=	*T2-weighted*
TC	=	*Tumor Core*
VPN	=	*Virtual Private Network*
WT	=	*Whole Tumor*
XAI	=	*Explainable Artificial Intelligence*