



ANALISIS PENGARUH CLAHE PADA PREDIKSI MODEL *DEEP LEARNING* YOLO26 DALAM MENDUKUNG DETEKSI OBJEK TUMOR OTAK PADA CITRA MRI

FIRDAUS RIZQON DARON



**PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Analisis Pengaruh CLAHE pada Prediksi Model *Deep Learning* YOLO26 dalam Mendukung Deteksi Dini Tumor Otak pada Citra MRI” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Firdaus Rizqon Daron
G6401221123



ABSTRAK

FIRDAUS RIZQON DARON. Analisis Pengaruh CLAHE pada Prediksi Model *Deep Learning* YOLO26 dalam Mendukung Deteksi Dini Tumor Otak pada Citra MRI. Dibimbing oleh MUSHTHOFA.

Diagnosis manual MRI tumor otak rentan terhadap subjektivitas dan memakan waktu. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi otomatis menggunakan arsitektur YOLO26 varian *small* (YOLO26s) dan mengevaluasi performanya pada lima variasi parameter *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) untuk mempertegas batas tumor. Menggunakan 5.249 citra MRI, kelas normal direstrukturisasi sebagai *background images* untuk menekan angka *false positive*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa CLAHE dengan *ClipLimit* 2.5 merupakan varian terbaik yang mampu meningkatkan presisi pelokalan. Model ini mencatatkan mAP@0.5 sebesar 94,56% dan mAP@0.5:0.95 sebesar 75,40%, mengungguli model *baseline* (tanpa CLAHE) yang masing-masing memperoleh 93,03% dan 74,02%. Namun, peningkatan presisi ini mengorbankan sensitivitas model, yang ditandai dengan turunnya metrik *recall* dari 90,57% pada model *baseline* menjadi 88,77% pada model CLAHE 2.5. Meskipun masih memiliki keterbatasan akurasi pada tumor bermorfologi infiltratif seperti *glioma*, model ini sangat efisien dengan waktu inferensi 453,56 milidetik per citra pada CPU. Percobaan implementasi model ke dalam prototipe web menunjukkan potensinya sebagai sistem pendukung keputusan klinis yang cepat dan minim beban komputasi.

Kata kunci: CLAHE, deteksi objek, MRI, tumor otak, YOLO26.

ABSTRACT

FIRDAUS RIZQON DARON. Analysis on the Effect of CLAHE on Deep Learning Model YOLO26 in Supporting Early Detection of Brain Tumor on MRI Scans. Supervised by MUSHTHOFA.

Manual MRI analysis for brain tumors is subjective and time-consuming. This study develops an automated detection system using the YOLO26 small (YOLO26s) architecture and evaluates its performance across five parameter variations of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) to enhance tumor boundaries. Using 5,249 MRI images, normal scans were restructured as background images to suppress false positives. Evaluation results indicate that CLAHE with a ClipLimit of 2.5 is the optimal variant for improving localization precision. This model achieved an mAP@0.5 of 94.56% and an mAP@0.5:0.95 of 75.40%, outperforming the baseline (unprocessed) model, which scored 93.03% and 74.02%, respectively. However, this increase in precision induced a trade-off in model sensitivity, marked by a decline in the recall metric from 90.57% in the baseline model to 88.77% in the CLAHE 2.5 model. Although limited by infiltrative tumor morphologies such as *gliomas*, the model exhibited high computational efficiency with an inference time of 453.56 milliseconds per image on a standard CPU. Its implementation into a web application prototype shows its potential as a fast and computationally lightweight Clinical Decision Support System.

Keywords: brain tumor, CLAHE, MRI, object detection, YOLO26.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

ANALISIS PENGARUH CLAHE PADA PREDIKSI MODEL *DEEP LEARNING* YOLO26 DALAM MENDUKUNG DETEKSI OBJEK TUMOR OTAK PADA CITRA MRI

FIRDAUS RIZQON DARON

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Toto Haryanto, S.Kom, M.Si.
- 2 Rina Trisminingsih, S.Kom., M.T., Ph.D.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Skripsi : Analisis Pengaruh CLAHE pada Prediksi Model *Deep Learning* YOLO26 dalam Mendukung Deteksi Objek Tumor Otak pada Citra MRI

Nama : Firdaus Rizqon Daron
NIM : G6401221123

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Mushthofa, S.Kom., M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Sarjana Ilmu Komputer:
Dr. Sony Hartono Wijaya, S.Kom., M.Kom.
19810809 200812 1 002

Tanggal Ujian:
22 Juli 2026

Tanggal Lulus:
4 Agustus 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan Juni 2026 ini ialah “Analisis Pengaruh CLAHE pada Prediksi Model *Deep Learning* YOLO26 dalam Mendukung Deteksi Objek Tumor Otak pada Citra MRI”.

Tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari banyak pihak yang terlibat. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu penulis, Bapak Chaidir Taufiq dan Ibu Ferina Darmarini, serta para kakak dan keluarga penulis, atas seluruh doa dan dukungannya kepada penulis.
2. Bapak Dr. Mushtofa S.Kom., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing utama penulis atas segala arahan, nasihat, dan dukungannya kepada penulis, serta koreksi pembenaran penulisan pada makalah maupun skripsi ini, sehingga memungkinkan penulis untuk menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
3. Seluruh dosen dan staf pegawai program sarjana Ilmu Komputer IPB University yang telah membantu penulis selama menempuh studi.
4. Seluruh teman-teman program studi S1 Ilmu Komputer angkatan 59, yang sudah menemani penulis menempuh kuliahnya hingga selesai.
5. Seluruh teman-teman selama program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukajadi, atas segala kebersamaan dan dukungannya kepada penulis.
6. Archi Linear, Reynaldi Adam, M Royhan, Kayis Ardian, Zulfan Ahmad, Adi Syahputra, Almanshurin Rahmat, Oktavian Fauzi, Yudistira Dharmawan, Fizel Ruslian, Ria Fitriani, Dewina Alfina, Dandy Nugraha, Hamdani Ibrahim, Hadiyanto, Queena Daniza dan kepada seluruh keluarga PPM Baitul ‘Ilmaini atas segala kenangan, kebersamaan, doa dan dukungannya kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Firdaus Rizqon Daron



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Magnetic Resonance Imaging dan Patologi Tumor Otak	5
2.3 <i>Deep Learning</i> dan <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	6
2.4 Deteksi Objek dan Arsitektur YOLO26	7
2.5 <i>Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization</i> (CLAHE)	8
III METODE	10
3.1 Data Penelitian	10
3.2 Tahapan Penelitian	11
3.3 Praproses Data	11
3.4 Konfigurasi Pelatihan Model	13
3.5 Evaluasi Model	14
3.6 Implementasi Berbasis Web	15
3.7 Lingkup Pengembangan	16
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Restrukturisasi dan Pembagian <i>Dataset</i>	17
4.2 Penerapan Pra-pemrosesan CLAHE	19
4.3 Pelatihan Model	20
4.4 Evaluasi Model	20
4.5 Implementasi Sistem Berbasis Web	29
V SIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Simpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
RIWAYAT HIDUP	35



DAFTAR TABEL

1	Penelitian Terdahulu	4
2	Distribusi Jumlah Citra pada <i>Dataset</i>	11
3	Konfigurasi Pelatihan Model	13
4	Distribusi <i>Dataset</i> setelah Pembagian Data	17
5	Hasil Evaluasi Model pada Test Set	21

DAFTAR GAMBAR

1	Jenis Tumor Otak pada tiga Orientasi	6
2	Arsitektur CNN	7
3	Arsitektur YOLO26 (Hidayatullah dan Tubagus 2026)	8
4	Ilustrasi Penerapan CLAHE pada Citra MRI	8
5	Sampel Data per Kelas	10
6	Tahapan Penelitian	11
7	Contoh penerapan CLAHE pada citra MRI	12
8	Ilustrasi Intersection of Union (IoU)	14
9	Struktur Direktori <i>Dataset</i> (sebelum dan sesudah restrukturisasi)	18
10	Visualisasi Penerapan CLAHE pada Lima Parameter <i>ClipLimit</i>	19
11	Kurva <i>Validation Box Loss</i>	20
12	Distribusi Jenis Kesalahan pada Berbagai Variasi Model YOLO26	22
13	Distribusi Keseluruhan <i>Dataset</i>	23
14	Akumulasi Jenis Kesalahan Berdasarkan Kelas Tumor	23
15	Distribusi Kelas Berdasarkan Jenis Kesalahan	24
16	Penerapan CLAHE pada Lima Parameter <i>ClipLimit</i>	25
17	Perbandingan Tiga Citra pada Skenario A	26
18	Perbandingan Tiga Citra pada Skenario B	27
19	Perbandingan Tiga Citra pada Skenario C	28
20	Tampilan awal Prototipe Web	29
21	Contoh Hasil Prediksi pada Model <i>Baseline</i>	29
22	Contoh Hasil Prediksi pada Model CLAHE 2.5	30
23	Contoh Hasil Prediksi pada Model <i>Baseline</i> dengan <i>Ground Truth</i>	30
24	Contoh Hasil Prediksi pada Model CLAHE 2.5 dengan <i>Ground Truth</i>	30