



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa izin UIN Suska Riau.
 - 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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**PENERAPAN *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI
TUMOR OTAK DENGAN PENDEKATAN *EXPLAINABLE
ARTIFICIAL INTELLIGENCE (XAI)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer pada
Program Studi Sistem Informasi

Oleh:

NOVRIAN PRATAMA

12250313668



UIN SUSKA RIAU

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2026



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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

PENERAPAN *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI TUMOR OTAK DENGAN PENDEKATAN *EXPLAINABLE* *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* (XAI)

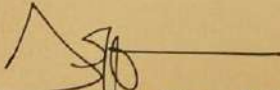
TUGAS AKHIR

Oleh:

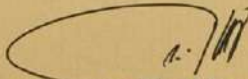
NOVRIAN PRATAMA
12250313668

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan tugas akhir
di Pekanbaru, pada tanggal 14 Januari 2026

Ketua Program Studi


Anraini, S.Kom., M.Eng., Ph.D.
NIP. 198408212009012008

Pembimbing


Mustakim, ST., M.Kom.
NIP. 198807022025211003



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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI TUMOR OTAK DENGAN PENDEKATAN *EXPLAINABLE* *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* (XAI)

TUGAS AKHIR

Oleh:

NOVRIAN PRATAMA
12250313668

Telah dipertahankan di depan sidang dewan penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 06 Januari 2026

Pekanbaru, 06 Januari 2026

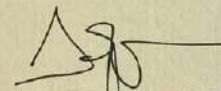
Mengesahkan,



Dekan

Dr. Yuslenita Muda, M.Sc.
NIP. 197701032007102001

Ketua Program Studi



Angraini, S.Kom., M.Eng., Ph.D.
NIP. 198408212009012008

DEWAN PENGUJI:

Ketua : Syaifullah, SE., M.Sc.

Sekretaris : Mustakim, ST., M.Kom.

Anggota 1 : Dr. Rice Novita, S.Kom, M.Kom.

Anggota 2 : Fitriani Muttakin, S.Kom., M.Cs.



- 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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran Surat :
 Nomor : Nomor 25/2021
 Tanggal : 10 September 2021

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Novrian Pratama
 NIM : 12250313668
 Tempat/Tgl. Lahir : Timbilahan / 02 November 2002
 Fakultas/Pascasarjana : Sains dan Teknologi
 Prodi : Sistem Informasi
 Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya*:
Penerapan Deep Learning untuk Klasifikasi Tumor Otak dengan
Pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/(Karya Ilmiah lainnya)* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 21 Januari 2026
 Yang membuat pernyataan

 METEOR
 TEMBILAHAN
 2112BANX164379782
 Novrian Pratama
 NIM: 12250313668

*pilih salah satu sesuai jenis karya tulis



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum, dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan atas izin penulis dan harus dilakukan mengikuti kaedah dan kebiasaan ilmiah serta menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin tertulis dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan dapat meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya dengan mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam pada *form* peminjaman.

© Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERNYATAAN

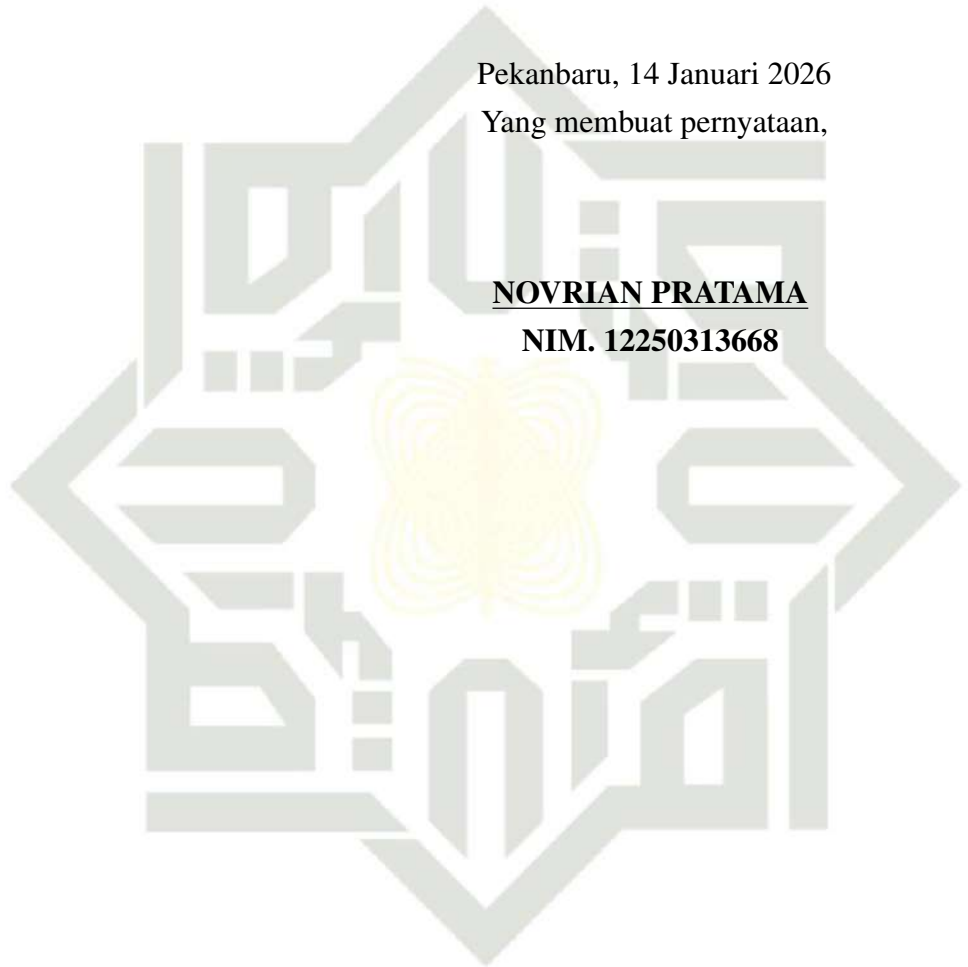
Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan di dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, 14 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,

NOVRIAN PRATAMA

NIM. 12250313668



UIN SUSKA RIAU

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil 'Alamiin, segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan semesta alam. Sujud syukur hamba persembahkan sebagai bentuk rasa terima kasih atas segala nikmat, kekuatan, dan kemudahan yang telah Engkau berikan tanpa kurang sedikitpun, sehingga hamba dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat beserta salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wa Sallam, dengan melafazkan "Allahumma Sholli'ala Sayyidina Muhammad Wa'ala Ali Sayyidina Muhammad". Semoga kita semua senantiasa mendapat syafaat beliau di dunia maupun di akhirat kelak. Aamiin ya Rabbal'aalamiin.

Karya sederhana ini kupersembahkan dengan segenap cinta dan ketulusan kepada Ibunda tercinta dan Adikku tersayang atas doa, pengorbanan, kasih sayang, serta bimbingan yang tak pernah terputus. Berkat ridho dan dukungan kalian, penulis dapat menuntaskan tanggung jawab akademik dan meraih gelar Sarjana. Tiada kata yang mampu membalas jasa-jasa tersebut, selain doa agar Allah SWT senantiasa menganugerahkan kesehatan, kebahagiaan dunia dan akhirat, serta menempatkan Ayah dan Ibu di tempat terbaik di sisi-Nya. Gelar ini adalah milik kalian, serta terima kasih kepada Adikku tercinta atas dukungan dan kebersamaan yang penuh makna.

Kepada Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Sistem Informasi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah memberikan ilmu pengetahuan bermanfaat, pengalaman berharga dan kebaikan yang tulus selama perkuliahan, saya ucapkan terima kasih banyak dan semoga menjadi amal jariyah. aamiin.

Sahabat-sahabat terdekat yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu dan pastinya juga teman-teman seperjuangan, terima kasih berkat kalian masa perkuliahan menjadi lebih bermakna dan menyenangkan semoga di masa mendatang kita bisa bertemu lagi dalam keadaan yang lebih baik.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

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 UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau



KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Penerapan *Deep Learning* untuk Klasifikasi Tumor Otak dengan Pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI)”. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasallam*, suri teladan bagi umat manusia. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Sistem Informasis Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan motivasi berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Hj. Leny Nofianti, MS, SE., M.Si., Ak., CA., sebagai Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
2. Ibu Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M.Sc., sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Ibu Angraini, S.Kom., M.Eng., Ph.D., sebagai Ketua Program Studi Sistem Informasi.
4. Bapak Mustakim, ST., M.Kom., sebagai dosen pembimbing tugas akhir dan juga sebagai ketua Predatech yang telah membimbing perjalanan karir pendidikan saya. Terima kasih telah memberikan saya kepercayaan sebagai Koordinator Mahasiswa Predatech yang telah membawa saya mendapatkan banyak pengalaman sejauh ini.
5. Terkhusus dan istimewa penulis persembahkan kepada Mamak tercinta, Ibu Musliha, yang telah memberikan segala dukungan bagi perjalanan pendidikan penulis. Dengan penuh kesabaran dan kasih sayang, beliau senantiasa meyakinkan penulis untuk menyelesaikan studi ini, memberikan nasihat serta dukungan pada saat penulis berada di titik terendah. Setiap doa yang beliau panjatkan setiap hari menjadi kekuatan utama yang mengantarkan penulis hingga berada di titik ini dan mampu membanggakan beliau melalui pencapaian yang diraih.
6. Untuk M. Yusuf Ramadan adik kesayangan saya yang telah hadir menemani proses perkuliahan dan menjadi penerus saya kedepannya lebih baik lagi. Saya ingin pencapaian pendidikan ini menjadi semangat dia untuk lebih lagi dari saya dengan cita-cita yang lebih besar lagi.

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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Ibu Dr. Rice Novita, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Penguji I yang memberikan masukan, nasihat, dan motivasi, serta membentuk penulis menjadi pribadi yang lebih teliti dan disiplin.
8. Ibu Fitriani Muttakin, S.Kom., M.Cs. selaku Dosen Penguji II dan Pembimbing Akademik yang dengan dedikasi memberikan arahan, masukan, serta motivasi selama masa studi hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Bapak Eki Saputra, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing MBKM yang senantiasa memberikan bimbingan, nasihat, dan motivasi dalam pengembangan karier, serta menjadi sosok pendorong dan figur orang tua bagi penulis di lingkungan kampus.
10. Ibu dan Bapak dosen Sistem Informasi yang telah memberikan ilmunya kepada peneliti. Mudah-mudahan semua ilmu yang diberikan dapat peneliti amalkan dan semoga menjadi amal jariyah.
11. Sahabat seperjuangan semasa kuliah yaitu Dani Harmade, Rahmat Afriyanto, Hapid Ramdani, Ahmeid Aqeil, Fajri Nurhadi, Erliandika Syahputra, dan Bang Hafiz Aryan Siregar yang telah berada di sisi saya di saat susah, senang, dan sedih. Dengan adanya mereka penulis terus termotivasi dalam mengejar karir dan dapat menyelesaikan pendidikan ini berkat bantuan mereka.
12. Teman-teman nongkrong dan hunting foto yaitu Agil Irman Fadri dan Abid Zhafran yang memberikan pengalaman baru dan kegiatan seru disaat stress menjalani kuliah dan trio maut dalam menaklukkan coffee shop di Pekanbaru.
13. Teman terbaik saya Alfarhozy Arya aka Oji yang sangat ringan tangan bantu saya dalam segala hal, selalu dapat diandalkan dan partner GYM bro saya hingga sekarang.
14. Teman-teman KKN saya yaitu Sheila Pratiwi, Ramadayani, Wikel, dan Heru yang selalu memberi support dan membawakan vibes positif dalam kehidupan kuliah saya.
15. Teruntuk seseorang yang penulis temui di Expo KKN Internasional, dengan kerudung putih dan kemeja bermotif bunga, yang telah hadir di tengah kesibukan magang dan penyusunan skripsi sebagai sumber dukungan dan semangat. Kehadirannya memberikan bantuan nyata, baik melalui usaha, perhatian, maupun dukungan moral, yang sangat berarti dalam perjalanan penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
16. Teman-teman di grup anak mentor novrian yaitu Rifka, Imel, Stevani, Irma dan Risyah yang telah memberikan support dan bantuan ke penulis untuk



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dapat menyelesaikan penelitian ini.

7. Rekan-rekan mahasiswa Sistem Informasi kelas B angkatan 2022 serta seluruh angkatan 2022, terima kasih atas kebersamaan, bantuan, dan motivasi selama masa perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Keluarga besar *Puzzle Research Data Technology* (Predatech) yang telah menjadi wadah pengembangan minat, bakat, dan kepemimpinan penulis, serta memberikan kepercayaan sebagai koordinator mahasiswa. Terima kasih atas kebersamaan, kerja sama, dan pengalaman berharga yang mendukung perjalanan akademik dan profesional penulis.
9. Kakak-kakak dan Abang-Abang Alumni Sistem Informasi yang memberikan ilmu dan bimbingan selama proses perkuliahan.
20. Seluruh teman-teman yang telah menemani dan mendukung penulis sejak masa sekolah, semoga silaturahmi kita senantiasa terjaga. Semoga kesuksesan dan semangat selalu menyertai kita semua. Aamiin.
21. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan serta penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga segala doa dan dorongan yang telah diberikan selama ini menjadi amal kebajikan dan mendapat balasan setimpal dari Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*. Peneliti menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Peneliti berharap untuk kritik dan saran yang membangun yang dapat disampaikan melalui email 12250313668@students.uin-suska.ac.id atau novrianprtama2@gmail.com untuk Tugas Akhir ini dan semoga Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Akhir kata peneliti ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Pekanbaru, 14 Januari 2026

Penulis,

NOVRAN PRATAMA
NIM. 12250313668



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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

PENERAPAN *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI TUMOR OTAK DENGAN PENDEKATAN *EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE* (XAI)

NOVRIAN PRATAMA

NIM: 12250313668

Tanggal Sidang: 06 Januari 2026

Periode Wisuda:

Program Studi Sistem Informasi
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas, No. 155, Pekanbaru

ABSTRAK

Diagnosis tumor otak melalui citra *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) secara manual seringkali bersifat subjektif, memakan waktu, dan rentan terhadap kesalahan interpretasi. Meskipun metode Deep Learning, khususnya *Convolutional Neural Network* (CNN), telah terbukti efektif dalam klasifikasi citra medis, sifatnya yang *black-box* membuat keputusan model sulit dipahami oleh tenaga medis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa tiga arsitektur CNN yaitu Xception, DenseNet-121, dan VGG-19 dalam mengklasifikasikan tumor otak jenis Glioma dan Meningioma, serta menerapkan pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) menggunakan *Gradient-weighted Class Activation Mapping* (Grad-CAM) untuk meningkatkan transparansi model. Penelitian menggunakan 2.875 data citra MRI sekunder yang melalui tahap *preprocessing* dengan teknik *Random Under Sampling* (RUS) untuk menangani ketidakseimbangan kelas. Berdasarkan 27 skenario pengujian dengan variasi *hyperparameter*, hasil menunjukkan bahwa arsitektur DenseNet-121 dengan optimizer Adam dan *learning rate* 0.01 merupakan model terbaik, mencapai akurasi 99,31%, F1-Score 99,30%, dan nilai AUC 0,9999. Visualisasi heatmap Grad-CAM membuktikan bahwa model secara presisi memfokuskan atensi pada area jaringan tumor yang relevan secara klinis, sehingga dapat diandalkan sebagai sistem pendukung keputusan medis.

Kata Kunci: *Deep Learning*, Tumor Otak, DenseNet-121, XAI, Grad-CAM, MRI



APPLICATION OF DEEP LEARNING FOR BRAIN TUMOR CLASSIFICATION USING THE EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (XAI) APPROACH

NOVRIAN PRATAMA
NIM: 12250313668

Date of Final Exam: January 06th 2026
Graduation Period:

Department of Information System
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street, No. 155, Pekanbaru

ABSTRACT

The diagnosis of brain tumors through Magnetic Resonance Imaging (MRI) images is often subjective, time-consuming, and prone to misinterpretation. Although Deep Learning methods, particularly Convolutional Neural Networks (CNN), have proven effective in medical image classification, their black-box nature makes model decisions difficult for medical personnel to understand. This study aims to evaluate the performance of three CNN architectures, namely Xception, DenseNet-121, and VGG-19, in classifying Glioma and Meningioma brain tumors, as well as applying the Explainable Artificial Intelligence (XAI) approach using Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) to improve model transparency. The study used 2,875 secondary MRI images that underwent preprocessing with the Random Under-Sampling (RUS) technique to address class imbalance. Based on 27 testing scenarios with hyperparameter variations, the results showed that the DenseNet-121 architecture with the Adam optimizer and a learning rate of 0.01 was the best model, achieving an accuracy of 99.31%, an F1-Score of 99.30%, and an AUC value of 0.9999. Grad-CAM heatmap visualization proves that the model precisely focuses attention on clinically relevant tumor tissue areas, making it reliable as a medical decision support system.

Keywords: *Deep Learning, Brain Tumor, DenseNet-121, XAI, Grad-CAM, MRI*

UIN SUSKA RIAU

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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR ISI

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Tumor Otak	6
2.1.1 Glioma	7
2.1.2 Meningioma	7
2.2 <i>Magnetic Resonance Imaging</i> (MRI)	8
2.3 <i>Deep Learning</i>	9

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	10
2.5	<i>Transfer Learning</i>	11
2.5.1	Arsitektur Xception	11
2.5.2	Arsitektur DenseNet-121	12
2.5.3	Arsitektur VGG-19	13
2.6	<i>Explainable Artificial Intelligence (XAI)</i>	14
2.6.1	<i>Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM)</i>	15
2.7	<i>optimizer</i>	16
2.7.1	<i>Adaptive Moment Estimation (Adam)</i>	17
2.7.2	<i>Stochastic Gradient Descent with Momentum (SGDM)</i>	18
2.7.3	<i>RMSprop</i>	18
2.8	<i>Random Under Sampling (RUS)</i>	19
2.9	<i>Python</i>	20
2.10	<i>Penelitian Terdahulu</i>	21
3	METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1	Tahap Perencanaan Penelitian	25
3.2	Tahap Pengumpulan Data	26
3.3	Tahap <i>Preprocessing</i> Data	26
3.4	Tahap Pengolahan Data	27
3.5	Tahap Analisis	29
3.6	Tahap <i>Development</i>	29
3.7	Tahap Dokumentasi	30
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Tahap Perencanaan	31
4.1.1	Lingkungan Implementasi	31
4.1.2	Analisis Kebutuhan Library Python	32
4.2	Tahap Pengumpulan Data	33
4.3	Proses <i>Preprocessing</i> Data	34
4.3.1	Resize dan Normalisasi Citra	34
4.3.2	Pembagian Dataset	35
4.3.3	<i>Random Under-Sampling (RUS)</i>	36
4.3.4	<i>Data Augmentation</i>	36
4.4	Implementasi Arsitektur Model <i>Deep Learning</i>	38
4.4.1	Pembuatan Model	38
4.4.2	Proses Pelatihan Model	44



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.5	Analisis Hasil dan Evaluasi Model	46
4.5.1	Evaluasi Model <i>Deep Learning</i>	46
4.5.2	Analisis Komparatif Keseluruhan Percobaan	51
4.6	Implementasi Grad-CAM	53
4.7	Deployment	54
4.8	<i>Comprehensive Analysis</i>	57
5	PENUTUP	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A	HASIL WAWANCARA	A - 2
LAMPIRAN B	HASIL OBSERVASI	B - 1
LAMPIRAN C	SURAT IZIN PENELITIAN	C - 1

DAFTAR GAMBAR

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

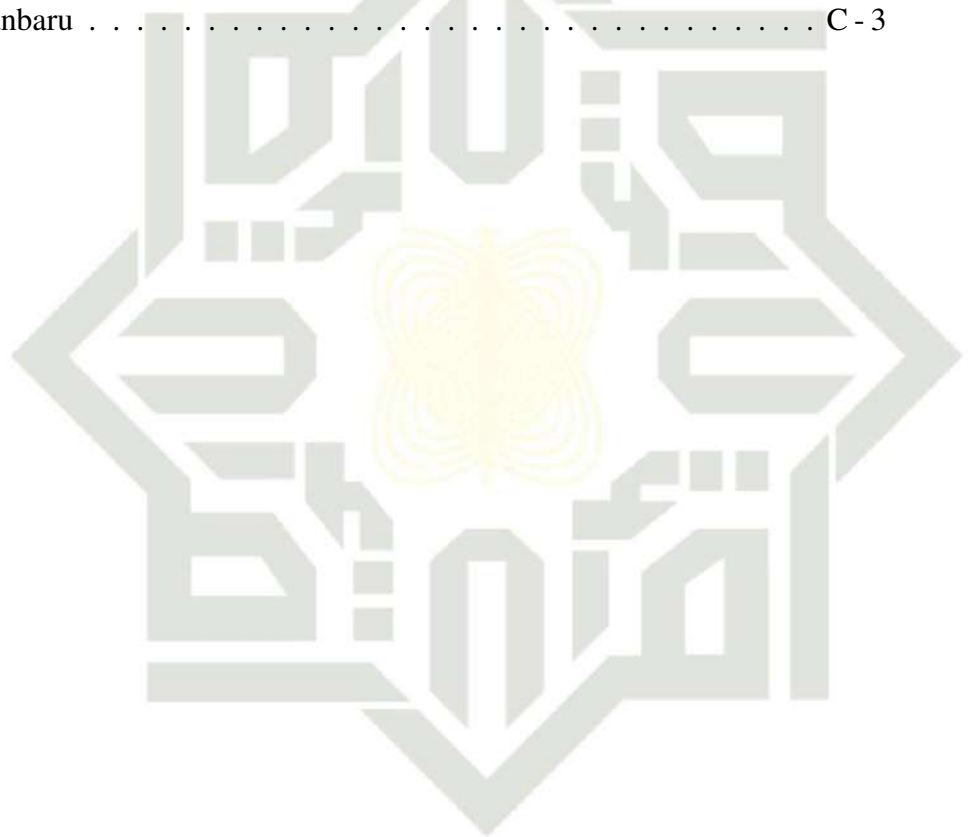
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.1	Citra Tumor Otak Glioma	7
2.2	Citra Tumor Otak Meningioma	8
2.3	Citra MRI Tumor Otak Manusia	9
2.4	Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	11
2.5	Arsitektur Xception	12
2.6	Arsitektur DenseNet-121	13
2.7	Arsitektur VGG-19	14
2.8	Arsitektur Grad-CAM	16
2.9	Konsep <i>Random Under Sampling</i>	20
3.1	Metodologi Penelitian	24
4.1	Visualisasi Dataset Citra Tumor Otak	34
4.2	Contoh Hasil Resize Image	35
4.3	Implementasi Kode Arsitektur Model Xception	40
4.4	Implementasi Kode Arsitektur Model Densenet-121	42
4.5	Implementasi Kode Arsitektur Model VGG-19	44
4.6	Model Loss dan Accuracy Xception	47
4.7	<i>Confusion Matrix</i> Model Xception	47
4.8	ROC Curve Xception	48
4.9	Model Loss dan Accuracy Densenet-121	48
4.10	<i>Confusion Matrix</i> Model Densenet-121	49
4.11	ROC Curve Densenet-121	49
4.12	Model Loss dan Accuracy VGG-19	50
4.13	<i>Confusion Matrix</i> Model VGG-19	50
4.14	ROC Curve VGG-19	50
4.15	Perbandingan Akurasi Xception Berdasarkan Optimizer	52
4.16	Perbandingan Akurasi Densenet-121 Berdasarkan Optimizer	52
4.17	Perbandingan Akurasi VGG-19 Berdasarkan Optimizer	53
4.18	Visualisasi Grad-CAM untuk Citra Kelas Glioma	54
4.19	Visualisasi Grad-CAM untuk Citra Kelas Meningioma	54
4.20	Tampilan Menu Home	55
4.21	Tampilan Menu About Jenis Tumor	55
4.22	Tampilan Menu Aplikasi	56
4.23	Tampilan Klasifikasi Tumor Otak	56

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.24 Tampilan Menu About Me	57
A.1 Hasil Wawancara dengan Dokter Spesialis Saraf Manusia	A - 2
A.2 Hasil Wawancara dengan Dokter Spesialis Saraf Manusia	A - 3
A.3 Hasil Wawancara dengan Dokter Spesialis Saraf Manusia	A - 4
B.1 Observasi ke RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau	B - 1
B.2 Observasi ke RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau	B - 1
C.1 Surat Izin Penelitian dari Fakultas Sains dan Teknologi	C - 1
C.2 Surat Izin Penelitian dari RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau	C - 2
C.3 Surat Kode Etik Penelitian dari Institut Kesehatan Payung Negeri Pekanbaru	C - 3



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR TABEL

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.1	Perangkat Keras dan Lunak	31
4.2	Library Python	32
4.3	Distribusi Dataset Tiap Kelas	33
4.4	Distribusi Pembagian Data Holdout 80:10:10	35
4.5	Distribusi Data Training Setelah <i>Random Under-Sampling (RUS)</i>	36
4.6	Rincian Teknik dan Parameter Augmentasi Data	37
4.7	Skenario Percobaan <i>Hyperparameter</i>	38
4.8	Konfigurasi Layer dan Parameter Model Xception	39
4.9	Konfigurasi Layer dan Parameter Model DenseNet-121	41
4.10	Konfigurasi Layer dan Parameter Model VGG-19	43
4.11	Konfigurasi Pelatihan Model	44
4.12	Rincian Mekanisme Callbacks dan Parameternya	45
4.13	Rekapitulasi Hasil Pengujian	51



UIN SUSKA RIAU



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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SINGKATAN

AI	: Artificial Intelligence
AUC	: Area Under the Curve
CNN	: Convolutional Neural Network
CPU	: Central Processing Unit
DL	: Deep Learning
FN	: False Negative
FP	: False Positive
GPU	: Graphics Processing Unit
Grad-CAM	: Gradient-weighted Class Activation Mapping
HGG	: High-Grade Glioma
LGG	: Low-Grade Glioma
MRI	: Magnetic Resonance Imaging
RAM	: Random Access Memory
ReLU	: Rectified Linear Unit
RMSprop	: Root Mean Square Propagation
ROC	: Receiver Operating Characteristic
RSUD	: Rumah Sakit Umum Daerah
RUS	: Random Under-Sampling
SGDM	: Stochastic Gradient Descent with Momentum
TN	: True Negative
TP	: True Positive
UIN	: Universitas Islam Negeri
VGG	: Visual Geometry Group
WHO	: World Health Organization
XAI	: Explainable Artificial Intelligence

UIN SUSKA RIAU



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Otak merupakan pusat kendali Sistem Saraf Pusat (SSP) yang berperan penting dalam mengatur berbagai fungsi tubuh, mulai dari pengambilan keputusan hingga pengendalian motorik (Soomro dkk., 2023; Kang, Ullah, dan Gwak, 2021). Karena kompleksitas dan peran vitalnya, otak sangat rentan terhadap gangguan seperti tumor (Ranjbarzadeh dkk., 2021). Tumor otak adalah pertumbuhan sel abnormal di dalam jaringan otak yang dapat menyebabkan berbagai gejala seperti sakit kepala, kejang, gangguan kognitif, hingga kematian (Srinivas dkk., 2022; Reddy dkk., 2024). Berdasarkan data *World Health Organization* (WHO), kanker merupakan penyebab kematian kedua terbesar di dunia dengan 10 juta kematian pada tahun 2020, termasuk kontribusi signifikan dari tumor otak (Gaur, Bhandari, Razdan, Mallik, dan Zhao, 2022). Di Indonesia, kasus tumor otak diperkirakan mencapai 300 pasien per tahun yang menyerang berbagai kalangan usia, baik dewasa maupun anak-anak (Harahap, Nafisa, Purba, dan Putri, 2023).

Terdapat berbagai jenis tumor otak, dengan dua yang paling sering menjadi fokus klinis yaitu glioma yang bersifat ganas dan agresif, serta meningioma yang berasal dari selaput meninges dan umumnya jinak namun berisiko jika menekan jaringan vital otak (Srinivas dkk., 2022). Diagnosis dini sangat penting untuk keberhasilan pengobatan, namun masih bergantung pada interpretasi manual yang subjektif dan memakan waktu (Kang dkk., 2021). Saat ini, *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) merupakan salah satu metode pencitraan medis terbaik untuk mendeteksi kelainan pada jaringan lunak otak karena mampu menghasilkan citra beresolusi tinggi tanpa penggunaan radiasi ionisasi (Sharif, Li, Khan, dan Saleem, 2020). Namun, keterbatasan tenaga medis dan risiko kesalahan interpretasi membuat dibutuhkan sistem pendukung keputusan berbasis teknologi (Velpula dkk., 2025). Urgensi ini dikonfirmasi melalui wawancara dengan Dokter Spesialis Bedah Saraf di RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau, yang menyatakan bahwa pada kasus tertentu karakteristik visual glioma dan meningioma dapat tampak serupa sehingga menyulitkan pembedaan secara manual. Kondisi ini, ditambah dengan meningkatnya jumlah temuan kasus akibat kesadaran masyarakat yang lebih tinggi, menegaskan perlunya pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan sebagai sistem pendukung untuk mempercepat analisis citra MRI dan meningkatkan ketepatan diagnosis (Lampiran A).

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) melalui pendekatan *Deep Learning* menjadi solusi potensial yang mampu melakukan klasifikasi otomatis berdasarkan citra medis (Saeedi, Rezayi, Keshavarz, dan R. Niakan Kalhori, 2023). *Convolutional Neural Network* (CNN) telah banyak digunakan dalam berbagai tugas klasifikasi citra, termasuk deteksi penyakit (Zeineldin dkk., 2022). Berbeda dengan *Machine Learning* konvensional yang memerlukan ekstraksi fitur manual (Kang dkk., 2021), CNN mampu mempelajari fitur visual secara otomatis dari data mentah, sehingga lebih efektif dalam membedakan karakteristik kompleks antara Glioma dan Meningioma (Saeedi dkk., 2023).

Meskipun CNN menawarkan akurasi klasifikasi yang tinggi, karakteristiknya sebagai *Black-box* menjadi tantangan karena hasil prediksi sulit dijelaskan dan dipahami oleh tenaga medis sebagai pengguna akhir (Akça, Atban, Garip, dan Ekinci, 2023). Mengingat dampaknya terhadap keselamatan pasien, sistem AI dalam bidang kesehatan tidak hanya dituntut akurat tetapi juga transparan dan dapat diinterpretasikan. Untuk mengatasi masalah tersebut, pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) dibutuhkan untuk meningkatkan keterjelasan dan interpretabilitas hasil prediksi model *Deep Learning* (Eder, Moser, Holzinger, Jean-Quartier, dan Jeanquartier, 2022). Meskipun terdapat metode XAI post-hoc lain seperti *Local Interpretable Model-agnostic Explanations* (LIME) dan *SHapley Additive exPlanations* (SHAP), penerapannya pada citra medis beresolusi tinggi sering terkendala oleh kompleksitas komputasi dan hasil segmentasi yang kurang natural (Barredo Arrieta dkk., 2020). Berbeda dengan pendekatan lain, pendekatan *Gradient-weighted Class Activation Mapping* (Grad-CAM) dipilih karena menawarkan efisiensi komputasi dengan memanfaatkan informasi gradien pada lapisan konvolusi terakhir tanpa memerlukan perubahan pada arsitektur jaringan (Marmolejo-Saucedo dan Kose, 2024).

Penelitian oleh Hidayatullah (2021) membangun model klasifikasi tumor otak berbasis MRI menggunakan EfficientNet-B0, yang menghasilkan akurasi 99,8% dan F1-score 99,7% (Hidayatullah, 2021). Asif dan kawan-kawan (2022) menerapkan model Xception dengan *optimizer* Adam dan mencapai akurasi 99,67% serta F1-score 99,68%, menjadikannya model terbaik di antara beberapa arsitektur CNN berbasis *Transfer Learning* (Asif dkk., 2022). Umair dan kawan-kawan (2021) menggunakan DenseNet-121 dengan Grad-CAM untuk klasifikasi COVID-19 dari citra *X-ray* dan mencapai akurasi 96,49%. Implementasi Grad-CAM berhasil menunjukkan area kritis pada citra yang berkontribusi terhadap keputusan model, sehingga meningkatkan transparansi dan performa sistem klasifikasi



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

(Umair dkk., 2021). Sementara itu, Jain dan kawan-kawan (2021) membuktikan keunggulan VGG-19 dalam mengklasifikasikan penyakit otak melalui citra MRI dengan meraih akurasi 86,42%, disertai dengan visualisasi Grad-CAM yang tepat dan *Confusion Matrix* yang konsisten dibandingkan ResNet-18 dan VGG-16 (Jain dkk., 2021).

Berdasarkan penelitian terdahulu, pendekatan *Deep Learning* khususnya CNN terbukti efektif dalam klasifikasi tumor otak. Namun, tantangan berupa kompleksitas model black-box dan subjektivitas interpretasi manual masih menghambat penerapannya di dunia klinis. Penelitian ini mengusulkan pengembangan model menggunakan 2.875 data sekunder citra MRI yang bersumber dari RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau periode tahun 2021, merujuk pada dataset yang telah dikurasi dalam penelitian Hidayatullah. Penelitian ini mengusulkan pengembangan model menggunakan tiga arsitektur *Transfer Learning*, yaitu VGG-19 yang merepresentasikan arsitektur jaringan dalam, DenseNet-121 yang unggul dalam efisiensi parameter melalui dense connectivity, dan Xception yang menawarkan kecepatan komputasi melalui depthwise separable convolution. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis komparatif ketiga arsitektur tersebut yang diintegrasikan dengan metode XAI Grad-CAM untuk memvisualisasikan area tumor secara presisi, guna meningkatkan transparansi hasil klasifikasi. Model dengan hasil evaluasi terbaik kemudian disimpan dalam ekstensi h5 untuk dipergunakan dalam pengembangan aplikasi, sehingga hasil klasifikasi dan visualisasi Grad-CAM dapat diakses secara langsung dan berfungsi sebagai alat bantu keputusan klinis yang transparan.

1.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan perbandingan performa model klasifikasi tumor otak Glioma dan Meningioma menggunakan tiga arsitektur *Deep Learning* berbeda, yaitu Xception, DenseNet-121, dan VGG-19, yang dioptimalkan dengan pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI). Maka dapat ditetapkan suatu rumusan masalah yaitu "Bagaimana implementasi Grad-CAM pada Xception, DenseNet-121, dan VGG-19 dapat meningkatkan akurasi dan interpretabilitas klasifikasi tumor otak glioma dan meningioma berdasarkan citra MRI 2D?"

1.2 Batasan Masalah

Dalam penelitian yang dilakukan diperlukan batasan masalah agar tidak meluas dari topik yang telah ditentukan, berikut batasan masalah dalam penulisan tugas akhir:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dataset yang digunakan adalah data sekunder citra MRI tumor otak berupa irisan 2D (axial plane) sebanyak 2.875 citra yang bersumber dari rekam medis pasien RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau Periode Tahun 2021. Data ini merujuk pada dataset yang telah tervalidasi dalam penelitian Hidayatullah (2021).
2. Klasifikasi dilakukan pada dua kelas tumor otak dengan komposisi data, yaitu kelas Glioma sebanyak 840 citra dan kelas Meningioma sebanyak 2.035 citra.
3. Model *Deep Learning* dibangun menggunakan tiga arsitektur *Transfer Learning*, yaitu Xception, DenseNet-121, dan VGG-19.
4. Interpretabilitas Model menggunakan pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) teknik *Gradient-weighted Class Activation Mapping* (Grad-CAM) untuk memvisualisasikan heatmap area tumor.
5. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan *Confusion Matrix* yang terdiri dari *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F-1 score* serta ROC.
6. Tools yang digunakan adalah *Google Colab*, *Library Tensorflow*, *framework Flask* dan Keras.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis dan membandingkan performa tiga arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) yaitu Xception, DenseNet-121, dan VGG-19 untuk menentukan model terbaik dalam klasifikasi tumor otak berdasarkan citra MRI.
2. Meningkatkan transparansi dan interpretabilitas model melalui pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) menggunakan Grad-CAM agar keputusan prediksi dapat dijelaskan secara visual.
3. Mengembangkan prototipe aplikasi berbasis web menggunakan model terbaik sebagai alat bantu diagnosis yang mampu memberikan hasil klasifikasi dan visualisasi area tumor.

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan alat bantu diagnosis alternatif yang cepat bagi tenaga medis dalam membedakan tumor glioma dan meningioma, sehingga dapat mengurangi subjektivitas dalam interpretasi citra secara manual.
2. Mengatasi masalah *Black-box* pada *Deep Learning* melalui visualisasi



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grad-CAM, sehingga tenaga medis dapat memahami dan memverifikasi bahwa keputusan model didasarkan pada area tumor yang relevan.

- Mendapatkan model yang bisa digunakan untuk pengembangan aplikasi klasifikasi tumor otak Meningioma dan Glioma.
- Memberikan kontribusi dalam bidang kesehatan, khususnya dalam meningkatkan kualitas diagnosis dan pengobatan tumor otak.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Dalam bab ini peneliti menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir.

BAB 2. LANDASAN TEORI

Bab ini memaparkan teori-teori yang berasal dari jurnal ilmiah, prosiding, buku serta studi kepustakaan yang digunakan sebagai tinjauan dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memaparkan mengenai tentang alur penelitian penulis mulai dari pengumpulan data hingga pengolahan datanya.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan mengenai analisis dan hasil yang merupakan analisis perbandingan metode CNN dengan arsitektur Xception, DenseNet-121 dan VGG-16 serta hasil dari aplikasinya

BAB 5. PENUTUP

Bab ini memaparkan kesimpulan dan saran dari penelitian



BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tumor Otak

Otak manusia merupakan komponen inti dari sistem saraf pusat (SSP) dan termasuk salah satu organ paling kompleks serta vital dalam tubuh (Ullah dkk., 2022). Organ ini berperan sebagai pusat pengendali seluruh aktivitas tubuh melalui koordinasi miliaran sel dan sistem saraf (Alanazi dkk., 2022). Otak bertanggung jawab atas pemrosesan, pengambilan keputusan, dan pengiriman instruksi ke berbagai sistem tubuh (Mastoi dkk., 2025). Kompleksitas dan peran krusial otak dalam fungsi tubuh menyebabkan kerentanannya terhadap berbagai gangguan, termasuk perkembangan jaringan abnormal seperti tumor (Özkaraca dkk., 2023).

Tumor otak adalah sekumpulan sel abnormal yang tumbuh secara tidak terkendali di dalam otak atau sistem saraf pusat (Akter dkk., 2024). Menurut laporan *World Health Organization* (WHO), kanker otak termasuk salah satu jenis kanker paling mematikan, dengan statistik menunjukkan sekitar 17.760 kematian pada orang dewasa akibat tumor otak pada tahun 2019 (Khairandish, Sharma, Jain, Chatterjee, dan Jhanjhi, 2022). Di Indonesia terdapat sekitar 300 kasus tumor otak yang terdiagnosis setiap tahun pada berbagai kalangan usia baik dewasa maupun anak-anak (Harahap dkk., 2023). Dalam praktik klinis di RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau, peningkatan temuan kasus lebih dipengaruhi oleh meningkatnya kesadaran masyarakat dan akses BPJS yang mendukung deteksi dini melalui CT Scan, bukan karena peningkatan angka kejadian tumor otak (Valentino, 2025). Meskipun demikian, banyak kasus yang terlambat ditangani karena gejala awal sering diabaikan. Berdasarkan observasi klinis, gejala paling umum yang dikeluhkan pasien adalah nyeri kepala kronis yang bersifat progresif, serta gangguan fungsional lain bergantung pada lokasi tumor, seperti gangguan penglihatan, pendengaran, bicara, atau motorik (Valentino, 2025).

Sekitar 130 varian tumor yang berbeda dapat menyerang otak dan sistem saraf pusat, dengan rentang klasifikasi dari tumor jinak sampai ganas (Abdusalomov, Mukhiddinov, dan Whangbo, 2023). Di bidang bedah saraf RSUD Arifin Achmad provinsi Riau sendiri, kasus tumor otak menempati urutan ketiga terbanyak setelah kasus trauma dan penyakit vaskular (Valentino, 2025). Tumor otak dibagi menjadi dua bagian utama yaitu tumor primer dan sekunder (Raza dkk., 2022). Tumor otak primer adalah tumor yang dapat berkembang dalam sel-sel otak itu sendiri, sebelum berpotensi menyebar ke bagian lain tubuh. Karakteristik tu-

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

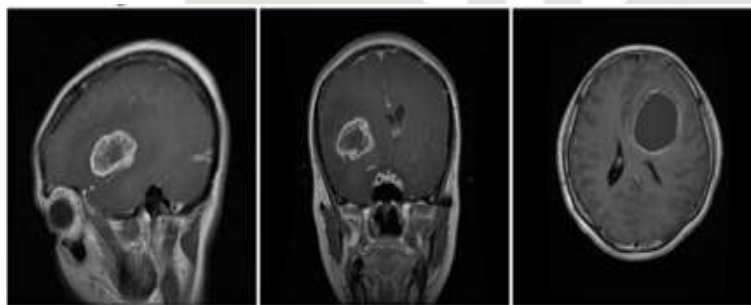
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

mor ini bervariasi mulai dari bentuk jinak hingga ganas (Reddy dkk., 2024). Sebaliknya tumor otak sekunder atau metastasis merupakan tumor yang berasal dari kelainan organ tubuh lain yang menyebar ke otak melalui aliran darah (Soomro dkk., 2023). Tumor otak sekunder bersifat kanker karena berasal dari penyebaran kanker dari organ tubuh lain, sedangkan tumor jinak tidak menyebar antar bagian tubuh (Abdusalomov dkk., 2023).

2.1.1 Glioma

Glioma adalah tumor otak primer yang sangat berbahaya di sistem saraf pusat (SSP), dengan jumlah kasus yang terus meningkat dan dampak besar pada tingkat kematian manusia (Kader dkk., 2021). Glioma berasal dari sel glia, yang berfungsi menjaga kesehatan *neuron* otak dan mendukung komunikasi antar sel saraf di otak dan sistem saraf pusat (Reddy dkk., 2024). Tumor ini umumnya bersifat ganas dan berkontribusi terhadap 33% dari seluruh kasus tumor otak, dengan tingkat agresivitas tinggi yang memungkinkannya menyebar cepat ke jaringan otak lainnya (Akter dkk., 2024). Secara demografis, karakteristik penderita Glioma memiliki perbedaan signifikan dengan jenis tumor lain. Berdasarkan data klinis di RSUD Arifin Achmad, kasus Glioma lebih dominan ditemukan pada pasien berusia lanjut, yakni kisaran 50 tahun ke atas (Valentino, 2025). Glioma diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu Low-Grade Glioma (LGG) dan High-Grade Glioma (HGG). LGG umumnya tumbuh lambat dan bisa bersifat jinak maupun ganas, sehingga penderita dapat bertahan hidup selama beberapa tahun. Sebaliknya, HGG bersifat sangat ganas dengan laju pertumbuhan tinggi, dan harapan hidup penderitanya biasanya kurang dari dua tahun (Sharif dkk., 2020). Citra Meningioma dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Abdusalomov dkk., 2023).



Gambar 2.1. Citra Tumor Otak Glioma

2.1.2 Meningioma

Meningioma adalah jenis tumor otak yang berkembang dari tiga lapisan membran yang disebut meninges (Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

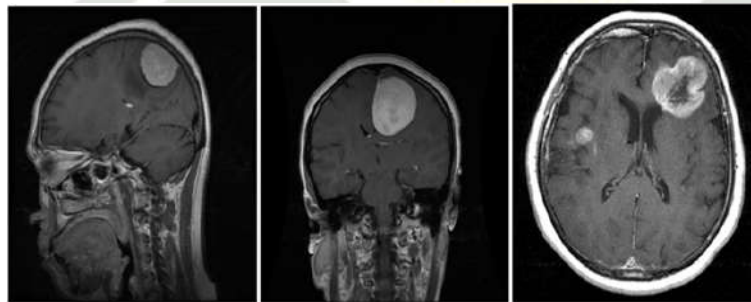
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2022). Lapisan tersebut mengelilingi sumsum tulang belakang dan otak manusia (Ullah dkk., 2022). Meningioma termasuk dalam tumor otak primer karena berasal dari otak itu sendiri dan cenderung bersifat tumor jinak, namun tetap memerlukan pengawasan medis karena dapat memberikan tekanan pada jaringan otak sekitarnya jika ukurannya membesar (Reddy dkk., 2024; Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas, 2022).

Gejala meningioma sangat bervariasi tergantung pada lokasi dan ukuran tumor, namun umumnya mencakup sakit kepala, kejang, gangguan penglihatan atau pendengaran dan kelemahan anggota badan (Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas, 2022). Dalam praktik klinis, meningioma menyumbang sekitar 15% dari seluruh kasus tumor otak (Özkaraca dkk., 2023). Observasi klinis di RSUD Arifin Achmad menunjukkan bahwa kasus meningioma paling dominan ditemukan pada pasien wanita. Data kunjungan pasien juga mengindikasikan bahwa sebagian kasus terdeteksi pada kelompok usia yang relatif lebih muda, sekitar 40 tahun, meskipun secara umum meningioma lebih sering dilaporkan pada individu berusia di atas 60 tahun (Komite Penanggulangan Kanker Nasional, 2019; Valentino, 2025). Citra Meningioma dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Abdusalomov dkk., 2023).



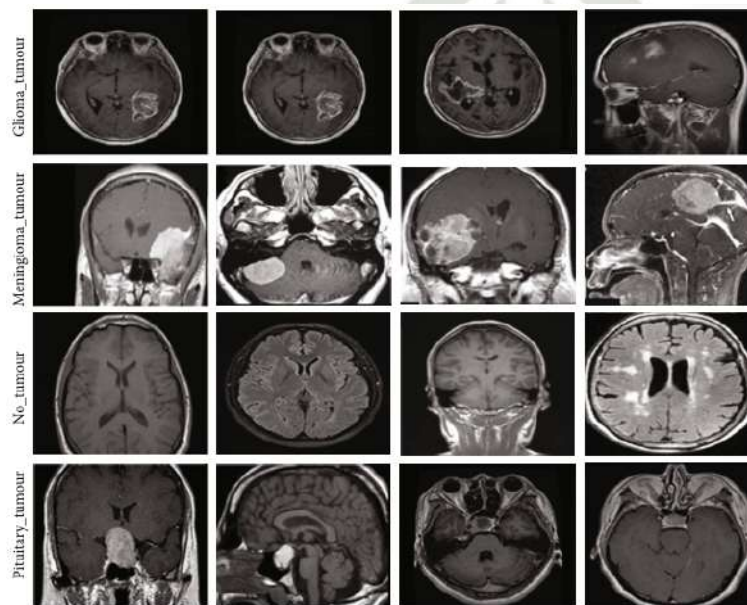
Gambar 2.2. Citra Tumor Otak Meningioma

2.2. *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*

MRI adalah teknik pencitraan medis penting yang memberikan informasi rinci tentang struktur otak dengan resolusi tinggi (Ullah dkk., 2022). Teknologi MRI memanfaatkan medan magnet kuat dan gelombang radio untuk menghasilkan gambar tiga dimensi yang rinci dari organ dan jaringan di dalam tubuh (Marek dkk., 2022). MRI lebih unggul dari *Computer Tomography (CT)* Scan karena memberikan citra jaringan otak yang lebih detail tanpa menggunakan radiasi ionisasi, sehingga lebih aman dan efektif untuk mendeteksi tumor berdasarkan tekstur dan bentuknya (Asif dkk., 2022).

MRI unggul dalam diagnosis tumor otak karena menghasilkan gambar res-

olusi tinggi dengan kontras jaringan lunak yang baik dan menyediakan pandangan aksial, koronal, dan sagital untuk evaluasi menyeluruh (Abdusalomov dkk., 2023). Citra MRI umumnya terdiri dari beberapa jenis pemindaian seperti *T1-weighted* (T1w), *T2-weighted* (T2w), *FLAIR*, dan *T1-weighted* dengan kontras (T1wc), yang masing-masing memberikan representasi berbeda terhadap jaringan otak (Shehab, Fahmy, Gasser, dan El-Mahallawy, 2021). Meski memiliki banyak keunggulan, akurasi MRI tetap bergantung pada interpretasi radiolog yang bisa bersifat subjektif, dan integrasi data sering terkendala oleh perbedaan metode serta variasi populasi (Bethlehem dkk., 2022). Citra MRI otak dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Senan dkk., 2022).



Gambar 2.3. Citra MRI Tumor Otak Manusia

2.3 Deep Learning

Deep Learning merupakan bidang populer AI yang menggunakan jaringan saraf tiruan (*Neural Network*) untuk memproses informasi seperti otak manusia dan memungkinkan pemodelan otomatis tanpa ekstraksi fitur manual (Abdullah, berhe Abrha, Kedir, dan Tamirat Tagesse, 2024). *Deep Learning* adalah cabang *machine learning* yang menggunakan jaringan saraf bertingkat dengan minimal dua lapisan tersembunyi yang bekerja secara hierarkis untuk mengenali pola dari data mentah (Mirugwe, Nyirenda, dan Dufourq, 2022). Teknik *Deep Learning* berkembang pesat dan banyak digunakan dalam pengenalan gambar, segmentasi, deteksi, serta berbagai tugas *computer vision* (Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas, 2022).

Deep Learning telah menjadi teknik unggulan dalam analisis citra medis



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

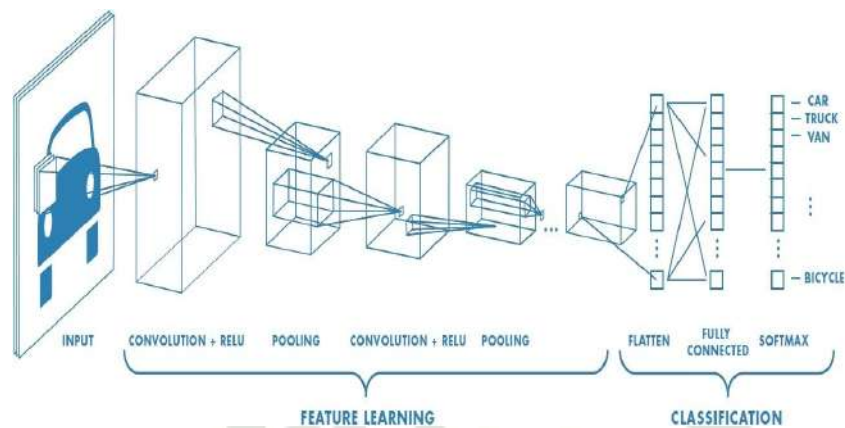
karena kemampuannya mengenali pola kompleks yang sulit diidentifikasi manusia, khususnya pada data citra MRI (Menaouer, Dermene, El Houda Kebir, dan Matta, 2022). *Deep Learning* mampu mengenali pola halus yang sulit ditangkap oleh manusia. Karena itu, teknologi ini banyak digunakan dalam analisis citra medis (Alsaif dkk., 2022).

2.4 Convolutional Neural Network (CNN)

CNN adalah algoritma *Deep Learning* paling populer yang menjadi terobosan besar dalam klasifikasi dan pengolahan citra digital (Tashtoush dkk., 2023). CNN dirancang untuk mengenali pola spasial pada gambar dengan struktur menyerupai sistem visual manusia, memproses input gambar melalui lapisan tersembunyi dan menghasilkan kategori kelas sebagai output (Menaouer dkk., 2022). CNN digunakan untuk melakukan klasifikasi, segmentasi, dan deteksi objek dalam citra, dengan kemampuan mengolah data berdimensi tinggi guna mengenali pola visual yang kompleks (Alsaif dkk., 2022). Pertimbangan utama dalam pemilihan algoritma CNN pada penelitian ini adalah keunggulannya dalam melakukan ekstraksi fitur secara otomatis (Boussaad dan Boucetta, 2022). Berbeda dengan metode *Machine Learning* konvensional yang sangat bergantung pada ekstraksi fitur manual yang rumit dan rentan terhadap bias subjektif manusia, CNN memiliki kemampuan untuk mempelajari hierarki fitur langsung dari data mentah piksel (Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas, 2022). CNN mampu secara otomatis mempelajari fitur dari data mentah dengan mengekstraksi fitur visual sederhana pada lapisan awal dan menyusunnya secara hierarkis menjadi fitur yang lebih kompleks pada lapisan yang lebih dalam, sehingga dapat mengatasi keterbatasan metode *Machine Learning* tradisional yang bergantung pada rekayasa fitur manual (Ozkaraca dkk., 2023).

CNN memiliki tiga lapisan utama, yaitu *convolutional layer*, *pooling layer*, dan *fully connected* (Asif dkk., 2022). Lapisan konvolusional pada CNN berfungsi mendeteksi fitur lokal dari gambar dengan menggunakan filter atau kernel, di mana setiap *neuron* menghitung input sebagai hasil perkalian titik untuk menghasilkan representasi fitur dalam ruang laten beresolusi rendah (Ammann, Hadler, Gröschel, Kolbitsch, dan Schulz-Menger, 2023). *Pooling layer* berfungsi mengurangi dimensi spasial dari fitur yang dihasilkan lapisan konvolusi dengan tetap mempertahankan informasi penting. Proses ini, seperti *max pooling* atau *average pooling*, membantu mengurangi kompleksitas model dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan posisi atau skala objek dalam citra (Abdullah dkk., 2024). Lapisan *Fully Connected*

(FC) adalah komponen akhir dalam CNN yang menghubungkan semua fitur hasil ekstraksi dari lapisan sebelumnya ke *neuron* output untuk menghasilkan prediksi. Setiap *neuron* pada lapisan ini terhubung penuh dengan *neuron* di lapisan sebelumnya, memungkinkan transformasi fitur menjadi hasil klasifikasi (Balaha dan Hassan, 2023). Gambar 2.4 menunjukkan contoh arsitektur CNN (Dhillon dan Verma, 2020).



Gambar 2.4. Arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN)

2.5 Transfer Learning

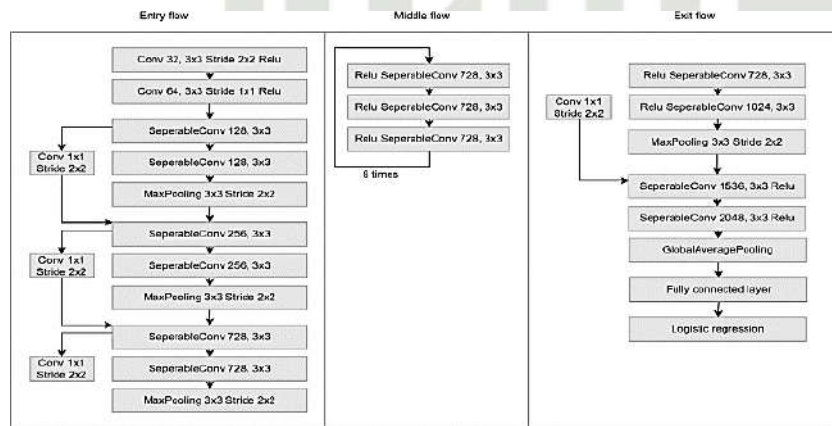
Transfer Learning adalah teknik *Deep Learning* yang mentransfer pengetahuan dari model yang telah dilatih sebelumnya ke model baru untuk meningkatkan efisiensi pembelajaran (Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas, 2022). *Transfer Learning* memanfaatkan model yang sudah terlatih (*pre-trained*) pada dataset besar untuk diterapkan pada tugas baru dengan data berbeda, dan sangat cocok diterapkan ketika jumlah data pelatihan terbatas (Asif dkk., 2022). Dengan melakukan *fine-tuning* pada lapisan tertentu, model dapat memanfaatkan pengetahuan yang telah diperoleh dari data berlabel dalam jumlah besar untuk beradaptasi dengan karakteristik spesifik pada tugas baru yang memiliki data terbatas, sehingga menghemat waktu dan sumber daya komputasi (Balaha dan Hassan, 2023).

2.5.1 Arsitektur Xception

Xception, singkatan dari “*Extreme Inception*”, adalah arsitektur *Deep Learning* lanjutan yang dikembangkan oleh François Chollet pada 2017 sebagai pengembangan Inception dengan menggantikan modul Inception dengan operasi *depthwise separable convolution* (Asif dkk., 2022; Yoon, 2025). Pendekatan Xception mengandalkan konvolusi yang dipisahkan berdasarkan kedalaman, di mana *depthwise convolution* menerapkan filter 3x3 secara independen pada setiap salu-

ran, diikuti oleh *pointwise convolution* 1x1 untuk menggabungkan informasi antar saluran, serta dilengkapi dengan *batch normalization* dan koneksi residual (Reyes dan Sánchez, 2024).

Model Xception memiliki 71 lapisan, termasuk 36 lapisan konvolusi untuk ekstraksi fitur yang disusun dalam 14 modul dengan koneksi *residual linier*. Setelah bagian inti konvolusi, digunakan *global average pooling* dan *dropout* 50% sebelum lapisan akhir yang terhubung penuh (Ullah dkk., 2022). Xception menganalisis konvolusi terpisah untuk mengurangi parameter dan mempercepat pelatihan, serta menunjukkan performa lebih baik dibanding InceptionV3, VGG, dan berbagai varian ResNet pada klasifikasi dataset *ImageNet* (Dhillon dan Verma, 2020). Arsitektur utama model Xception beserta komponen-komponennya ditampilkan pada Gambar 2.5 (Dhillon dan Verma, 2020).



Gambar 2.5. Arsitektur Xception

2.5.2 Arsitektur DenseNet-121

Arsitektur DenseNet merupakan salah satu varian dari *Dense Convolutional Network* (DenseNet) yang dikembangkan oleh Gao Huang dan rekan-rekannya pada tahun 2017 (Huang, Liu, Van Der Maaten, dan Weinberger, 2017). DenseNet merupakan pengembangan dari ResNet dengan arsitektur *feedforward* yang memanfaatkan koneksi padat antar lapisan melalui blok padat (Asif dkk., 2022). Setiap lapisan terhubung langsung ke seluruh lapisan setelahnya, sehingga lebih efisien dalam mengatasi masalah hilangnya gradien, memperkuat aliran fitur, memanfaatkan informasi dari berbagai tingkat, serta mengurangi jumlah parameter meskipun memiliki jumlah lapisan yang sama (F. Li, Feng, Han, dan Wang, 2020).

DenseNet-121 dirancang untuk tugas klasifikasi gambar dengan memanfaatkan koneksi padat antar lapisan, yang memungkinkan aliran informasi dan gradien lebih efisien melalui koneksi pendek, di mana setiap lapisan menerima dan

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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

meneruskan peta fitur secara kolektif dalam dimensi kedalaman (Ho dan Gwak, 2019). DenseNet121 terdiri dari empat blok padat yang masing-masing berisi 6, 12, 24, dan 16 blok konvolusi, yang dipisahkan oleh tiga lapisan transisi untuk mengurangi dimensi fitur dan ukuran *spasial* melalui konvolusi 1x1 dan *pooling* (Asif dkk., 2022). DenseNet121 mampu mempelajari pola fitur yang lebih beragam dan menghasilkan batas keputusan yang lebih halus, terutama saat data pelatihan terbatas (Ho dan Gwak, 2019). Berkat efisiensi dan generalisasi yang baik, model ini banyak digunakan dalam pengenalan citra, termasuk deteksi tumor otak pada citra MRI. Arsitektur DenseNet121 secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Huang dkk., 2017).

Layers	Output Size	DenseNet-121	DenseNet-169	DenseNet-201	DenseNet-264
Convolution	112 × 112	7 × 7 conv, stride 2			
Pooling	56 × 56	3 × 3 max pool, stride 2			
Dense Block (1)	56 × 56	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 6$
Transition Layer (1)	56 × 56	1 × 1 conv			
	28 × 28	2 × 2 average pool, stride 2			
Dense Block (2)	28 × 28	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 12$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 12$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 12$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 12$
Transition Layer (2)	28 × 28	1 × 1 conv			
	14 × 14	2 × 2 average pool, stride 2			
Dense Block (3)	14 × 14	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 24$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 32$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 48$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 64$
Transition Layer (3)	14 × 14	1 × 1 conv			
	7 × 7	2 × 2 average pool, stride 2			
Dense Block (4)	7 × 7	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 16$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 32$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 32$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1 \text{ conv} \\ 3 \times 3 \text{ conv} \end{bmatrix} \times 48$
Classification Layer	1 × 1	7 × 7 global average pool			
		1000D fully-connected, softmax			

Gambar 2.6. Arsitektur DenseNet-121

2.5.3 Arsitektur VGG-19

Visual Geometry Group Network (VGGNet) adalah arsitektur jaringan saraf konvolusional yang dikembangkan oleh Karen Simonyan dan Andrew Zisserman dari Universitas Oxford pada tahun 2014 (Alsaif dkk., 2022). VGG dikembangkan untuk tugas klasifikasi gambar dan berhasil meraih juara kedua dalam kategori klasifikasi dan lokalisasi pada kompetisi *ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge* (ILSVRC) 2014 (Tashtoush dkk., 2023). VGGNet meningkatkan akurasi klasifikasi dengan memperdalam arsitektur jaringan, menggunakan *filter* konvolusi kecil berukuran 3×3 dan *max pooling* 2×2 untuk membentuk representasi fitur yang kompleks (Menaouer dkk., 2022). VGGNet dirumuskan dengan meningkatkan kedalaman arsitektur yang memiliki dua varian utama yaitu VGG-16 dan VGG-19 (Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas, 2022).

VGG-19 memiliki 16 lapisan konvolusi dan 3 *fully connected*, menggu-

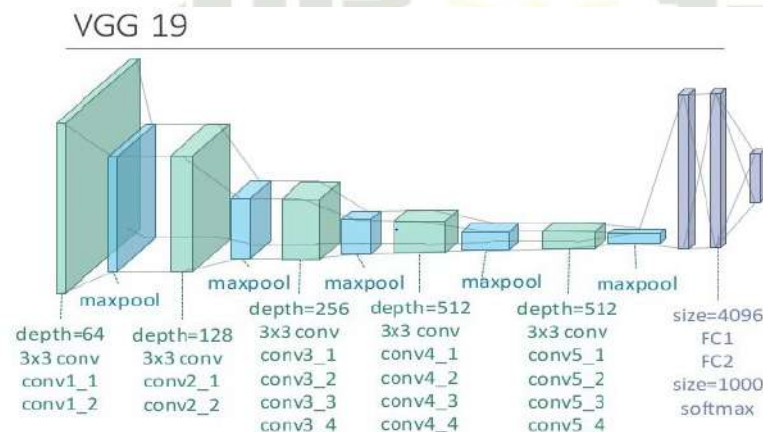
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

nakan *filter* 3×3 dengan *stride* 1, *max-pooling* 2×2, dan aktivasi *ReLU* untuk menambahkan *non-linearitas*. Arsitektur ini lebih dalam dibanding VGG-16 yang hanya memiliki 13 lapisan konvolusi (Tashtoush dkk., 2023). Penggunaan filter kecil yang berulang pada VGG-19 memungkinkan penangkapan fitur *hierarkis* yang lebih kompleks dibandingkan arsitektur sebelumnya seperti AlexNet, sekaligus meningkatkan kemampuan *non-linearitas* jaringan tanpa menambah kompleksitas parameter secara signifikan (Alanazi dkk., 2022). Meskipun penambahan lapisan pendukung menjadikan VGG-19 lebih mumpuni dalam mempelajari struktur kompleks dengan blok sekuensial yang meminimalisir kehilangan informasi spasial, peningkatan jumlah lapisan dan parameter dibandingkan pendahulunya seperti VGG-16 menyebabkan kebutuhan sumber daya komputasi yang lebih besar dan waktu pelatihan yang lebih lama (Kandel dan Castelli, 2020). VGG-19 memiliki arsitektur bertingkat dengan blok konvolusi, dilanjutkan lapisan *fully connected* dan *softmax* di akhir untuk klasifikasi. Gambar 2.7 menunjukkan struktur arsitektur VGG-19 secara keseluruhan (Maqsood, Damaševičius, dan Maskeliūnas, 2022).



Gambar 2.7. Arsitektur VGG-19

2.6 Explainable Artificial Intelligence (XAI)

XAI adalah bidang kecerdasan buatan yang mengusulkan pergeseran menuju AI transparan melalui pengembangan teknik untuk meningkatkan interpretabilitas model pembelajaran mesin kompleks seperti *Deep Learning* (Adadi dan Berrada, 2018). XAI bertujuan untuk membuka "kotak hitam" dari model pembelajaran mendalam yang proses pengambilan keputusannya sulit dipahami manusia, sehingga keputusan internalnya dapat dipahami dengan lebih baik (van der Velden, Krijff, Gilhuijs, dan Viergever, 2022). XAI mengatasi masalah interpretabilitas dengan menyediakan visualisasi dan penjelasan yang menyoroti bagian relevan dalam



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

representasi mesin yang memengaruhi akurasi model saat pelatihan atau prediksi (Eder dkk., 2022).

Teknik XAI diklasifikasikan berdasarkan tiga kriteria utama yaitu ruang lingkup (global vs lokal), waktu penerapan (*intrinsik* vs *post hoc*), dan pendekatan yang digunakan yaitu berbasis model, fitur, atau parameter (van der Velden dkk., 2022). Dalam kategori post-hoc, terdapat beberapa metode populer seperti Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME) dan SHapley Additive exPlanations (SHAP) (Linardatos, Papastefanopoulos, dan Kotsiantis, 2021). Namun, penerapan metode tersebut pada citra medis beresolusi tinggi sering kali menghadapi kendala, seperti kompleksitas komputasi yang tinggi pada SHAP dan hasil segmentasi superpixel yang kurang natural pada LIME (van der Velden dkk., 2022). XAI mengatasi kekurangan penjelasan model radiomik dengan mengidentifikasi area berpengaruh dalam citra MRI, sehingga meningkatkan kepercayaan dan memungkinkan validasi klinis oleh tenaga medis untuk diagnosis (Gaur dkk., 2022). Menurut penelitian oleh Zeineldin dan kawan-kawan (2022), penerapan XAI dalam analisis citra MRI dapat membantu tenaga medis memahami proses pengambilan keputusan model *Deep Learning* melalui visualisasi area penting pada gambar (Zeineldin dkk., 2022).

2.6.1 Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM)

Grad-CAM dikembangkan oleh Selvaraju dan kawan-kawan (2016) dan merupakan metode post-hoc interpretabilitas yang menghasilkan heatmap (Selvaraju dkk., 2017). Berbeda dengan LIME yang bekerja dengan melakukan perturbasi acak pada input gambar untuk mengidentifikasi fitur mana yang memiliki pengaruh paling besar terhadap prediksi model (S Band dkk., 2023), Grad-CAM menggunakan informasi gradien dari kelas target pada lapisan konvolusi terakhir untuk menghasilkan visualisasi yang menyoroti area penting dalam citra yang memengaruhi keputusan klasifikasi model CNN (Barredo Arrieta dkk., 2020). Grad-CAM efektif untuk analisis citra MRI, seperti penilaian dan lokalisasi glioma, dengan menyoroti area penting yang memengaruhi prediksi model dan lebih mudah dipahami manusia dibandingkan penjelasan berbasis piksel. Secara matematis, Grad-CAM menghitung koefisien penting (weight) untuk setiap feature map pada lapisan konvolusi, seperti ditunjukkan pada Persamaan 2.1 (Zeineldin dkk., 2022).

$$\alpha_k^c = \frac{1}{z} \sum_i \sum_j \frac{\partial y^c}{\partial A_{ij}^k} \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 menghitung bobot α_k^c sebagai rata-rata gradien skor kelas y^c

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

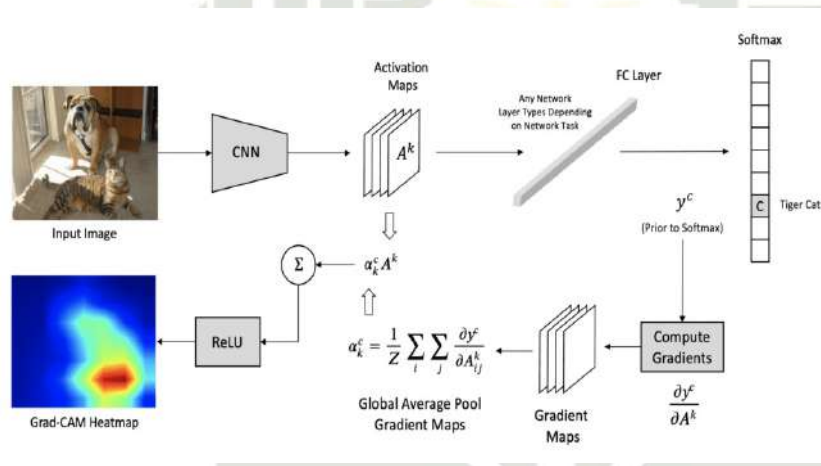
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

terhadap aktivasi *spasial* A_{ij}^k . Bobot ini menunjukkan kontribusi feature map ke- k terhadap prediksi kelas c . Selanjutnya, heatmap Grad-CAM dihasilkan melalui kombinasi linear antara bobot α_k^c dan feature map A^k , kemudian diterapkan fungsi aktivasi ReLU untuk mempertahankan hanya kontribusi positif, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2 (H. Y. Chen dan Lee, 2020).

$$L_{Grad-CAM}^c = \text{ReLU} \left(\sum_k \alpha_k^c A^k \right) \quad (2.2)$$

Grad-CAM bekerja dengan melakukan *forward pass* untuk menghasilkan prediksi, lalu *backward pass* untuk menghitung gradien terhadap *feature map* di lapisan konvolusi terakhir. Gradien ini menentukan bobot tiap *feature map* yang kemudian digabung dan diaktifkan dengan *ReLU* untuk membentuk peta aktivasi spasial. Hasil visualisasi ini menyoroti area penting dalam citra yang memengaruhi keputusan model tanpa mengubah arsitektur jaringan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Selvaraju dkk., 2017).



Gambar 2.8. Arsitektur Grad-CAM

2.7 optimizer

Optimizer adalah komponen kunci dalam pelatihan model *Deep Learning* yang berfungsi memperbarui bobot jaringan berdasarkan nilai *loss*, sehingga berperan langsung dalam meningkatkan akurasi dan performa model [57]. *Optimizer* bertujuan meminimalkan fungsi *loss* dengan menyesuaikan parameter yang dapat dipelajari, sehingga proses pembelajaran model menjadi lebih efisien dan akurat [24]. *Optimizer* bekerja dengan memperbarui bobot jaringan saraf menggunakan algoritma gradient descent, yang mengambil langkah kecil ke arah negatif dari turunan fungsi *loss* untuk meminimalkan kesalahan secara bertahap [43]. Banyak



algoritma *Optimizer* dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pelatihan model. Beberapa *Optimizer* yang sering digunakan antara lain Adam, SGD dengan momentum, dan RMSProp.

2.7.1 Adaptive Moment Estimation (Adam)

Adam merupakan algoritma optimasi yang menggabungkan *heuristik* dan keunggulan dari metode Momentum dan RMSProp untuk menghasilkan pendekatan yang lebih efektif dalam pelatihan model (Balaha dan Hassan, 2023). Adam adalah algoritma optimasi berbasis gradien orde pertama yang menggunakan estimasi momen pertama (rata-rata gradien) dan momen kedua (kuadrat gradien) secara adaptif untuk setiap parameter, sehingga mampu mengatur *Learning Rate* secara dinamis selama proses pelatihan pada fungsi objektif stokastik (Usmani dkk., 2023). Adam digunakan untuk memperbarui bobot jaringan secara iteratif berdasarkan data pelatihan, dengan kemampuan adaptasi yang menjadikannya algoritma populer karena stabilitas, dan konvergensi cepat (Asif dkk., 2022). Adam menghitung momen pertama dan kedua gradien menggunakan Persamaan 2.3 dan 2.4, lalu memperbarui bobot dengan Persamaan 2.5 yang menggabungkan konsep dari SGDM dan RMSprop (Rajakumari dan Kalaivani, 2022).

$$m_t = \delta m_t + (1 - \delta_1) (\nabla_w L(x, y, w_t)) \quad (2.3)$$

$$v_t = \delta_2 v_{t-1} + (1 - \delta_2) (\nabla_w L(x, y, w)) ^2 \quad (2.4)$$

$$w = w - lr \cdot \frac{m_t}{\sqrt{v_t + \epsilon}} \quad (2.5)$$

Pada algoritma Adam, persamaan pertama menghitung momen pertama m_t sebagai rata-rata eksponensial dari gradien g_t untuk menangkap arah pembaruan bobot, sementara persamaan kedua menghitung momen kedua v_t sebagai rata-rata eksponensial dari kuadrat gradien g_t^2 , yang digunakan untuk mengontrol skala pembaruan agar tetap stabil. Kedua nilai ini kemudian digunakan dalam persamaan ketiga untuk memperbarui bobot w , yaitu dengan mengurangi hasil dari $\frac{m_t}{\sqrt{v_t + \epsilon}}$ yang dikalikan dengan *Learning Rate* α , sehingga proses pelatihan menjadi adaptif, stabil, dan cepat konvergen (Rajakumari dan Kalaivani, 2022).



2.7.2 Stochastic Gradient Descent with Momentum (SGDM)

Stochastic Gradient Descent (SGD) adalah algoritma optimasi paling dasar yang sering digunakan dalam *machine learning* untuk meminimalkan fungsi kerugian (Shehab dkk., 2021). SGD mempercepat pelatihan dibanding *gradient descent* tradisional dengan memperbarui bobot per sampel pelatihan, bukan menghitung gradien dari seluruh dataset (Hassan, Shams, Hikal, dan Elmougy, 2023). SGDM adalah pengembangan dari SGD yang menambahkan komponen momentum, yaitu kombinasi linear antara gradien saat ini dan pembaruan sebelumnya, untuk mempercepat konvergensi, mengurangi osilasi, dan menghasilkan pembaruan bobot yang lebih stabil dan akurat (Kandel dan Castelli, 2020). Secara matematis, SGDM didasarkan pada prinsip momentum dalam fisika, di mana algoritma cenderung mempertahankan arah langkah sebelumnya. Konsep ini diterapkan dengan menambahkan dua variabel, yaitu kecepatan dan faktor gesekan, untuk memperbaiki arah dan meningkatkan kestabilan proses optimisasi, seperti ditunjukkan pada Persamaan 2.6 dan 2.7 (Rajakumari dan Kalaivani, 2022).

$$vt + 1 = pvt + \nabla_w L(x, w) \quad (2.6)$$

$$w = w - lr \cdot (vt + 1) \quad (2.7)$$

Persamaan 2.6 menghitung kecepatan pembaruan bobot v_{t+1} dengan menggabungkan momentum dari gradien sebelumnya pv_t dan gradien terkini $\nabla_w L(x, w)$, di mana p merupakan *koefisien* momentum yang membantu mempertahankan arah pembaruan untuk mempercepat konvergensi dan mengurangi osilasi. Hasil perhitungan kecepatan ini kemudian digunakan dalam Persamaan 2.7 untuk memperbarui bobot w , yaitu dengan mengurangi nilai $lr \cdot v_{t+1}$ dari bobot sebelumnya, sehingga proses optimisasi menjadi lebih stabil dan efisien (Kandel dan Castelli, 2020).

2.7.3 RMSprop

RMSprop adalah algoritma optimisasi dari kelompok gradien adaptif yang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan dalam penentuan *Learning Rate* awal pada SGD. Metode ini bekerja dengan menyesuaikan *Learning Rate* secara otomatis selama pelatihan, menggunakan exponentially weighted moving average dari kuadrat gradien (Rajakumari dan Kalaivani, 2022). RMSprop memiliki kemiripan dengan optimizer Adam, perbedaannya terletak pada cara pembaruan parameter. RMSprop menggunakan momentum pada gradien yang telah disesuaikan, sedangkan Adam memperbarui parameter dengan rata-rata bergerak dari momen



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pertama dan kedua gradien (Reyad, Sarhan, dan Arafa, 2023). Proses pembaruan gradien telah dibahas dalam (Hassan dkk., 2023) seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.8 dan 2.9.

$$v_t = \delta v_{t-1} + (1 - \delta) (\nabla_w L(x, y, w_t))^2 \quad (2.8)$$

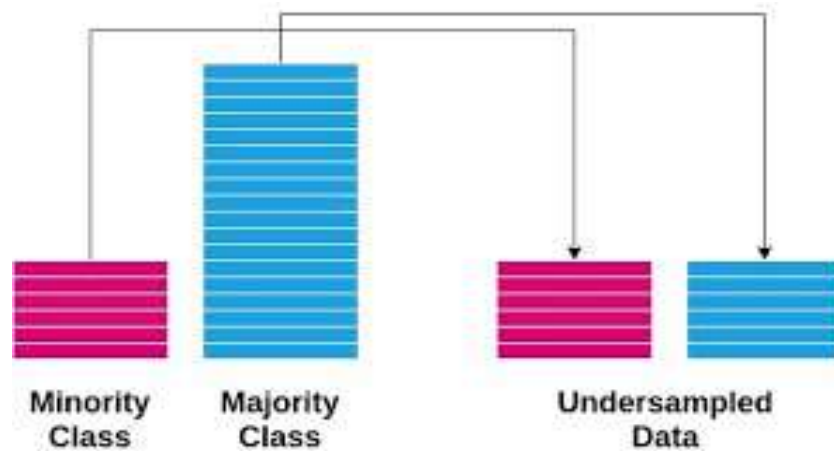
$$w = w - \eta \cdot \frac{1}{\sqrt{v_t + \epsilon}} \odot \nabla_w L(x, y, w) \quad (2.9)$$

Persamaan 2.8 menghitung nilai ekspektasi dari kuadrat gradien v_t dengan mengombinasikan nilai historis v_{t-1} dan kuadrat gradien terkini $(\nabla_w L(x, y, w_t))^2$, diatur oleh koefisien peluruhan δ yang berfungsi mengontrol kontribusi memori masa lalu. Selanjutnya, Persamaan 2.9 menunjukkan proses pembaruan parameter bobot w dengan mengurangi hasil dari gradien yang telah dinormalisasi terhadap akar dari v_t yang distabilisasi menggunakan konstanta ϵ . Simbol $\odot$ menyatakan operasi Hadamard (perkalian elemen per elemen), yang memungkinkan pembaruan dilakukan secara individual terhadap setiap parameter dalam jaringan.

2.8 Random Under Sampling (RUS)

Class Imbalance adalah masalah umum dalam *Machine Learning* dan *Deep Learning*, terutama pada dataset medis. Hal ini terjadi ketika jumlah data kelas mayoritas jauh lebih banyak dibanding kelas minoritas, seperti pada kasus prediksi klinis di mana pasien dengan kondisi tertentu jumlahnya sangat sedikit (Yang, Fridgeirsson, Kors, Reps, dan Rijnbeek, 2024). *Class imbalance* membuat model bias ke kelas mayoritas dengan akurasi tinggi, tetapi gagal mengenali kelas minoritas dengan baik. Hal ini menghasilkan performa tidak seimbang dan memerlukan penanganan khusus dalam pengembangan model prediksi (Zhong dan Wang, 2023). RUS adalah metode yang menyeimbangkan data dengan mengurangi sampel kelas mayoritas secara acak hingga seimbang dengan kelas minoritas, sehingga mencegah bias dan overfitting pada model (Z. Chen, Liu, Zhao, dan Bi, 2025). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yang dkk. (2024), dampak teknik random under-sampling terhadap performa validasi internal dan eksternal model prediksi pada dataset kesehatan observasional berskala besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik ini mempengaruhi kinerja model yang dikembangkan menggunakan data dengan format *Observational Medical Outcomes Partnership Common Data Model* (OMOP CDM) (Yang dkk., 2024). Meskipun dapat menghilangkan informasi, metode ini terbukti efektif meningkatkan sensitivitas kelas minoritas pada dataset besar tanpa

menurunkan generalisasi model secara drastis. Visualisasi konsep RUS ditunjukkan pada Gambar 2.9 (Joloudari, Marefat, Nematollahi, Oyelere, dan Hussain, 2023).



Gambar 2.9. Konsep *Random Under Sampling*

2.9 Python

Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan oleh Guido van Rossum pada akhir tahun 1989 selama liburan panjangnya, terinspirasi dari bahasa ABC dan dinamai dari acara televisi *Monty Python's Flying Circus*. Tujuan awal pengembangan Python adalah menciptakan bahasa yang mudah digunakan, fleksibel, namun tetap kuat untuk pengembangan sistem dan utilitas, khususnya pada sistem operasi *Amoeba*. Pada tahun 1990, Van Rossum mengajukan proposal kepada DARPA untuk menjadikan Python sebagai alat bantu yang efektif dalam kurikulum komputer dan pengembangan perangkat lunak (Severance, 2015). Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat *open-source* dan interpretatif, mendukung berbagai paradigma seperti prosedural, objek, dan fungsional, serta dikenal karena kelenturannya dalam pengembangan berbagai aplikasi dan paket (Doyoro dkk., 2022).

Python menawarkan ekosistem pustaka dan kerangka kerja seperti *TensorFlow*, *PyTorch*, dan *Keras*, yang mendukung pengembangan model pembelajaran mendalam seperti CNN secara efisien, serta didukung oleh pustaka komputasi ilmiah seperti *NumPy*, *Pandas*, dan *Matplotlib* yang memudahkan proses pra-pemrosesan data dan visualisasi hasil (M. Li, Jiang, Zhang, dan Zhu, 2023). Sejak dikembangkan pada Desember 1989, Python terus berkembang dari versi 1.x hingga 3.x dengan dukungan komunitas besar dan dokumentasi lengkap yang memudahkan *debugging* serta pengembangan sistem (Severance, 2015).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



2.10 Penelitian Terdahulu

Riset terdahulu yang telah dilakukan oleh Hidayatullah (2021) mengembangkan model klasifikasi tumor otak menggunakan arsitektur EfficientNet-B0 pada dataset lokal dari RSUD Arifin Achmad. Fokus penelitian ini adalah mengatasi risiko kesalahan diagnosis manual dan durasi biopsi yang lama. Proses *Preprocessing* dilakukan dengan *crop* dan *resize* citra menjadi 224×224 piksel, dilanjutkan dengan optimasi *Hyperparameter* berupa kombinasi *Learning Rate* dan jumlah *neuron*. Model terbaik dicapai pada konfigurasi *Learning Rate* 0,01 dan 256 *neuron*, menghasilkan akurasi 99,8% dan *F1-score* 99,7% (Hidayatullah, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Asif dan kawan-kawan (2022) membandingkan empat arsitektur CNN, yaitu Xception, NasNet Large, DenseNet-121, dan InceptionResNetV2, pada dua dataset publik yaitu *MRI-large* dan *MRI-small*. Mereka juga menguji tiga *optimizer* (Adam, SGD, RMSprop) serta menerapkan *augmentasi* data. Model Xception dengan *optimizer* Adam menunjukkan performa terbaik pada dataset *MRI-large*, dengan akurasi 99,67%, sensitivitas 99,68%, presisi 99,68%, dan *F1-score* 99,68%. Hasil ini memperkuat posisi Xception sebagai salah satu arsitektur unggulan untuk klasifikasi tumor otak (Asif dkk., 2022).

Dalam konteks XAI, Umair dan kawan-kawan (2021) menerapkan *transfer learning* pada beberapa arsitektur seperti VGG16, ResNet-50, MobileNet, dan DenseNet-121 untuk deteksi COVID-19 dari citra *X-ray*. Model DenseNet-121 menunjukkan akurasi tertinggi sebesar 96,49% dengan *optimizer* RMSprop. Penelitian ini menyoroti keberhasilan penggunaan Grad-CAM untuk memvisualisasikan fitur penting pada citra, yang membuktikan bahwa model fokus pada area *patologis* yang relevan dan meningkatkan transparansi serta kepercayaan terhadap hasil klasifikasi AI (Umair dkk., 2021).

Jain dan kawan-kawan (2021) menekankan peran XAI dalam analisis citra MRI untuk deteksi dan prediksi tingkat keparahan *demensia*. Penelitian ini mengusulkan sistem D-BAC yang memanfaatkan DCGAN untuk *augmentasi* data dan mengatasi ketidakseimbangan kelas. Dari beberapa arsitektur yang diuji, VGG-19 mencatat performa terbaik dengan akurasi 86,42% setelah menerapkan *progressive resizing*. Grad-CAM digunakan untuk menghasilkan heatmap yang menyoroti area otak relevan, termasuk pola “*blue shift*” sebagai indikator keparahan, menunjukkan bahwa XAI tidak hanya memberikan transparansi tetapi juga informasi *diagnostik* tambahan (Jain dkk., 2021).

Penelitian oleh Shah dan kawan-kawan (2022) melakukan *fine-tuning* terhadap arsitektur EfficientNet-B0 dan membandingkannya dengan VGG-16 serta

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Xception dalam klasifikasi tumor otak biner. Citra MRI diproses ke dalam ukuran 224×224 piksel dan dilatih selama 50 *epoch* menggunakan *optimizer* Adam, dengan *Learning Rate* awal 0,01 dan skema data 80% pelatihan dan 20% validasi. Model Xception mencatat performa terbaik dengan akurasi 97,8%, presisi 96,6%, dan *F1-score* 97,5%, memperlihatkan keunggulan arsitektur ini untuk klasifikasi citra medis beresolusi tinggi (Shah dkk., 2022). Raza dan kawan-kawan (2022) juga menunjukkan bahwa arsitektur Xception mampu mencapai akurasi 98,33% dan *F1-score* 98% dalam klasifikasi tiga jenis tumor otak menggunakan *Learning Rate* 0,01, yang semakin menguatkan relevansinya sebagai arsitektur kandidat dalam penelitian klasifikasi tumor berbasis MRI (Raza dkk., 2022).

Studi oleh Usmani dan kawan-kawan (2023) menyoroti pentingnya *Tuning Hyperparameter*, khususnya kombinasi *batch size* dan *Learning Rate* dalam *transfer learning*. Mereka menguji 56 kombinasi pada arsitektur *pretrained* ResNet-18, ResNet-50, dan ResNet-101 dengan tiga jenis *optimizer* yaitu SGDM, Adam, dan RMSprop. Hasil terbaik diperoleh dari kombinasi *batch size* 32 dan *Learning Rate* 0,01 menggunakan SGDM pada ResNet-18, yang menghasilkan akurasi 99,56% (Usmani dkk., 2023). Darwish dan kawan-kawan (2019) mengatasi ketidakseimbangan data dengan *Random Under-Sampling* (RUS), yaitu mengurangi jumlah sampel pada kelas mayoritas secara acak hingga seimbang dengan kelas minoritas. Hasilnya, dataset latih menjadi seimbang dengan masing-masing kategori memiliki sekitar 2.500 gambar, yang efektif mengurangi *overfitting* dan meningkatkan kemampuan generalisasi model (Darwish, Ezzat, dan Hassanien, 2020).

Dalam konteks interpretabilitas model, studi oleh Akça dan kawan-kawan (2023) menerapkan algoritma Grad-CAM pada arsitektur VGG-16 untuk memvisualisasikan area penting dalam MRI yang menjadi fokus klasifikasi. Visualisasi heatmap ini diaplikasikan pada layer terakhir (*Block 3 Conv 5*) untuk mengungkapkan region yang paling mempengaruhi keputusan model. Dengan hasil akurasi mencapai 97,3% dan *F1-score* 0,971 pada model MLP berbasis fitur CNN, penelitian ini membuktikan bahwa Grad-CAM mampu memberikan transparansi dan menjembatani keterbatasan *black-box* dalam *deep learning*, terutama dalam klasifikasi medis berbasis citra MRI (Akça dkk., 2023).

Secara keseluruhan, berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas metode *Deep Learning*, khususnya arsitektur CNN berbasis *Transfer Learning* seperti Xception, DenseNet-121, dan VGG-19, dalam menghasilkan akurasi klasifikasi citra medis yang tinggi. Namun, mayoritas penelitian tersebut masih berfokus pada capaian metrik performa kuantitatif dan belum sepenuhnya menga-



tasi masalah transparansi model serta ketidakseimbangan data yang umum terjadi pada dataset medis. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) menggunakan Grad-CAM untuk menjamin interpretabilitas keputusan model, serta menerapkan teknik *Random Under Sampling* (RUS) untuk menangani disparitas data, guna menghasilkan sistem diagnosis yang tidak hanya akurat tetapi juga valid dan transparan.



UIN SUSKA RIAU

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

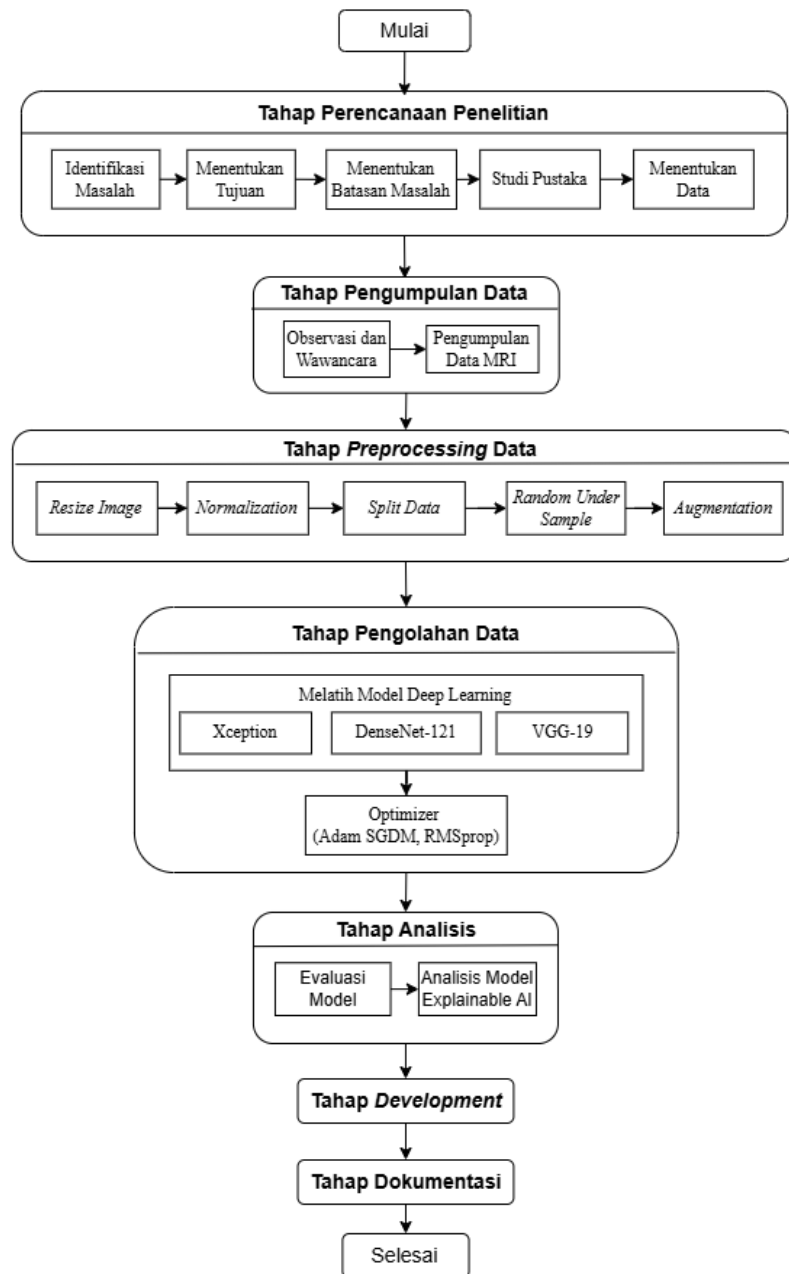
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini penulis melakukan penelitian dengan mengikuti metodologi penelitian. Alur metodologi penelitian yang akan digunakan untuk melakukan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1. Metodologi Penelitian



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.1 Tahap Perencanaan Penelitian

1. Identifikasi Masalah Mengidentifikasi masalah dilakukan dengan mengamati fenomena dan tantangan pada topik penelitian. Permasalahan utama yang ditemukan adalah diagnosis tumor otak masih bergantung pada interpretasi subjektif tenaga medis, sehingga berisiko menimbulkan kesalahan. Selain itu, model *Deep Learning* untuk klasifikasi citra medis umumnya bersifat black-box, sehingga sulit dijelaskan proses keputusannya, sehingga menimbulkan tantangan dalam hal kepercayaan dan transparansi.
2. Menentukan Tujuan. Penentuan tujuan penelitian untuk memperjelas arah dan sasaran penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan performa tiga arsitektur CNN dalam klasifikasi tumor otak dan meningkatkan transparansi model dengan menerapkan pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI) menggunakan teknik Grad-CAM.
3. Menentukan Batasan Masalah Penulis menetapkan batasan-batasan agar ruang lingkup penelitian tetap fokus dan tidak melebar dari topik yang telah ditentukan. Penelitian ini menggunakan dataset MRI tumor otak yang terdiri dari dua kelas, yaitu Glioma dan Meningioma. Penelitian ini menggunakan tiga arsitektur CNN, yaitu Xception, DenseNet-121, dan VGG-19. Untuk meningkatkan interpretabilitas hasil klasifikasi, pendekatan XAI diterapkan menggunakan teknik Grad-CAM. Penelitian ini hanya mencakup proses pengembangan dan evaluasi model, tanpa mencakup pembangunan sistem atau integrasi ke lingkungan klinis. Seluruh proses pelatihan dan pengujian dilakukan di Google Colab dengan menggunakan bahasa pemrograman Python.
4. Studi Pustaka Melakukan studi pustaka bertujuan untuk mengumpulkan dan mengkaji referensi yang berkaitan dengan klasifikasi citra digital, metode *Deep Learning*, arsitektur CNN, dan memahami pendekatan XAI. Referensi yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah, paper atau penelitian terdahulu yang disusun oleh para ahli untuk melengkapi data yang diperlukan dalam penelitian.
5. Menentukan Data Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dataset citra MRI otak manusia dari RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau. Dataset tersebut telah diklasifikasikan ke dalam dua jenis tumor, yaitu Glioma dan Meningioma.



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.2 Tahap Pengumpulan Data

1. Observasi dan Wawancara

Tahap ini dilakukan untuk memahami alur diagnosis tumor otak serta urgensi kebutuhan sistem pendukung keputusan klinis. Peneliti melakukan wawancara mendalam dengan Dokter Spesialis Bedah Saraf di RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau. Hasil wawancara mengungkapkan tantangan diagnostik pada kasus borderline akibat kemiripan visual antara glioma dan meningioma, serta menegaskan peran penting teknologi AI sebagai opini kedua untuk mempercepat proses kerja dokter seiring meningkatnya jumlah pasien.

2. Pengumpulan Data MRI

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa citra MRI otak manusia yang bersumber dari dataset penelitian terdahulu oleh Hidayatullah (2021), yang telah divalidasi dari rekam medis pasien di RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau. Penggunaan data sekunder ini dipilih untuk memastikan ketersediaan data yang terstruktur dan tervalidasi. Dataset terdiri dari total 2.875 citra berformat JPG yang terbagi ke dalam dua kelas, yaitu Glioma dan Meningioma. Distribusi awal dataset sebelum dilakukan proses penyeimbangan terdiri atas 840 citra glioma dan 2.035 citra meningioma. Citra MRI yang digunakan merupakan irisan dua dimensi (2D) pada bidang aksial (axial plane).

3.3 Tahap Preprocessing Data

Tahap *Preprocessing* data bertujuan untuk meningkatkan kualitas data dan mengurangi noise sebelum pelatihan model. Pada tahap ini dilakukan beberapa proses utama yaitu Resize Image, Normalization, dan Augmentation.

1. Resize dan Normalization Citra

Langkah pertama adalah menyeragamkan dimensi spasial seluruh citra MRI menjadi ukuran 224×224 piksel. Ukuran ini dipilih sebagai standar input resolusi untuk ketiga arsitektur CNN yang digunakan (DenseNet-121, Xception, dan VGG-19). Selanjutnya, dilakukan proses normalisasi (rescaling) dengan membagi nilai intensitas piksel dengan 255, sehingga rentang nilai piksel berada pada interval $[0, 1]$. Proses ini bertujuan untuk mempercepat konvergensi gradien selama pelatihan model.

2. Split Data

Dalam penelitian ini, dataset dipartisi menggunakan skenario pembagian



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

data dengan rasio 80:10:10. Skenario ini membagi total dataset menjadi tiga subset independen, yaitu 80% untuk data *training*, 10% untuk data *validation*, dan 10% untuk data *testing*. Alokasi terbesar sebanyak 80% didedikasikan untuk data latih agar model memiliki referensi yang memadai dalam mempelajari fitur visual kompleks dari citra MRI. Selanjutnya, 10% data validasi digunakan untuk memantau kinerja model setiap *epoch* guna mencegah terjadinya *overfitting* serta untuk penyetelan *Hyperparameter*. Sisa 10% dialokasikan secara eksklusif sebagai data uji untuk mengukur kemampuan generalisasi model secara objektif setelah proses pelatihan selesai. Seluruh proses pembagian data ini dilakukan menggunakan teknik *stratified sampling*, yang menjamin bahwa distribusi proporsi antara kelas Glioma dan Meningioma tetap seimbang dan representatif pada setiap sub-set data.

3. Random Under-Sampling

Analisis pada data Training menunjukkan adanya ketimpangan distribusi kelas (imbalanced data), di mana jumlah sampel Meningioma (2.035 citra total) jauh lebih banyak dibandingkan Glioma (840 citra total). Untuk mencegah bias model terhadap kelas mayoritas, diterapkan teknik Random Under-Sampling (RUS) khusus pada data Training. Teknik ini mengurangi jumlah sampel Meningioma secara acak hingga jumlahnya setara dengan kelas Glioma, yakni 672 citra per kelas. Hasilnya adalah dataset latih yang seimbang dengan total 1.344 citra sebelum augmentasi.

4. Augmentation

Untuk mencegah *overfitting* dan memperkaya variasi data latih, dilakukan dua metode augmentasi. Pertama, augmentasi statis dilakukan untuk menambah jumlah sampel data latih secara fisik hingga mencapai target 1.500 citra per kelas menggunakan variasi manipulasi piksel. Kedua, augmentasi dinamis (on-the-fly) diterapkan selama proses pelatihan menggunakan Image Data Generator. Transformasi yang dilakukan meliputi rotasi (rotation range), pergeseran (width/height shift), perbesaran (zoom), dan pembalikan horizontal (horizontal flip). Teknik ini membuat model lebih tangguh dalam mengenali orientasi tumor yang bervariasi.

3. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data dilakukan split data, implementasi model dan Optimizer.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Pemilihan Arsitektur CNN Penelitian ini menerapkan pendekatan studi komparatif dengan menggunakan tiga arsitektur CNN yang memiliki karakteristik struktural berbeda guna mengevaluasi performa terbaik dalam klasifikasi tumor otak. Arsitektur pertama yang digunakan adalah VGG-19, yang dipilih sebagai representasi arsitektur jaringan dalam klasik yang mengandalkan kedalaman tumpukan lapisan konvolusi untuk menghasilkan ekstraksi fitur hierarkis yang detail. Selanjutnya, arsitektur DenseNet-121 dipilih karena keunggulannya dalam efisiensi parameter melalui mekanisme *dense connectivity*, yang memungkinkan penggunaan kembali fitur dari setiap lapisan sebelumnya untuk memperkuat aliran informasi gradien. Terakhir, arsitektur Xception digunakan untuk menguji efektivitas teknologi Depthwise Separable Convolution yang menawarkan keunggulan dalam kecepatan pemrosesan dan pengurangan beban komputasi tanpa mengorbankan akurasi klasifikasi. Ketiga model tersebut diimplementasikan menggunakan metode *Transfer Learning*, dengan memanfaatkan bobot awal (*pre-trained weights*) dari dataset *ImageNet* untuk mempercepat konvergensi pelatihan pada dataset MRI yang jumlahnya terbatas.
2. Konfigurasi Pelatihan Model
Model dilatih menggunakan data MRI hasil augmentasi, dengan ukuran input citra 224×224 piksel dan batch size 32. Fungsi aktivasi yang digunakan pada lapisan output adalah sigmoid karena masalah klasifikasi biner. Selain itu, lapisan-lapisan tambahan seperti GlobalAveragePooling2D, Dense, Dropout, dan BatchNormalization ditambahkan untuk meningkatkan generalisasi dan mencegah overfitting.
3. Optimizer
Optimizer diterapkan untuk meminimalkan nilai fungsi loss dan meningkatkan akurasi model. Pada penelitian ini menggunakan tiga jenis algoritma optimasi untuk membandingkan performa pelatihan model, yaitu Adam, SGDM, dan RMSprop. Setiap optimizer memiliki karakteristik berbeda dalam menyesuaikan *Learning Rate* dan konvergensi, sehingga hasil evaluasi dapat menunjukkan pengaruh pemilihan optimizer terhadap akurasi dan stabilitas model.
4. Proses Pelatihan dan Validasi
Selama proses pelatihan, digunakan teknik early stopping dan model checkpoint untuk menyimpan model terbaik berdasarkan hasil validasi. Pelatihan dilakukan selama 50 epoch hingga model menunjukkan konvergensi atau



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

terjadi peningkatan error pada data validasi.

3.5 Tahap Analisis

Setelah dilakukan tahap pengolahan data langkah selanjutnya adalah tahap analisis. Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi performa model *Deep Learning* yang telah dilatih serta menganalisis interpretabilitasnya menggunakan pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI).

1. Evaluasi Model

Setelah melakukan beberapa percobaan, model harus dievaluasi untuk menilai performa model klasifikasi. Performa model dinilai menggunakan beberapa metrik evaluasi, yaitu *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F-1 score* serta ROC.

2. Analisis XAI

Analisis model menggunakan XAI bertujuan untuk meningkatkan transparansi dan interpretabilitas model *Deep Learning*. Dalam penelitian ini, teknik XAI yang digunakan adalah *Gradient-weighted Class Activation Mapping* (Grad-CAM). Grad-CAM memvisualisasikan wilayah penting pada citra MRI yang paling berpengaruh terhadap keputusan klasifikasi model. Analisis XAI ini menjadi pembeda utama penelitian, karena tidak hanya mengevaluasi akurasi tetapi juga interpretabilitas model dalam konteks klinis yang membutuhkan kejelasan diagnostic.

3.6 Tahap Development

Setelah proses evaluasi performa model klasifikasi tumor otak selesai, tahap selanjutnya adalah perancangan dan pengembangan prototipe sistem berbasis website. Tahap *Development* ini bertujuan menguji model *Deep Learning* terbaik secara langsung dengan mengintegrasikan fitur *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) berupa Grad-CAM untuk klasifikasi biner tumor otak. Prototipe ini akan memungkinkan pengguna untuk mengunggah citra MRI dan menerima hasil prediksi yang disertai visualisasi *heatmap* Grad-CAM. Visualisasi tersebut menyoroti area penting pada citra yang memengaruhi keputusan model, sehingga meningkatkan transparansi dan memberikan dukungan diagnostik yang lebih jelas bagi tenaga medis. Pengembangan dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dan framework Flask untuk menjamin integrasi model klasifikasi yang efisien dengan antarmuka pengguna yang responsif.



3.7 Tahap Dokumentasi

Tahap dokumentasi merupakan bagian akhir dari proses penelitian tugas akhir yang bertujuan untuk mencatat secara sistematis seluruh rangkaian kegiatan yang telah dilakukan, mulai dari tahap perencanaan, pengumpulan data, pengolahan data, hingga implementasi model. Dokumentasi ini disusun dalam bentuk laporan ilmiah sebagai bentuk pertanggungjawaban akademik serta sebagai referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan metode *Deep Learning* menggunakan arsitektur Xception, DenseNet-121, dan VGG-19 berhasil diimplementasikan untuk klasifikasi citra tumor otak. Dari 27 skenario percobaan, arsitektur DenseNet-121 terbukti menjadi model terbaik dengan konfigurasi *Hyperparameter* Optimizer Adam dan *Learning Rate* 0.01, yang menghasilkan performa superior dengan Akurasi 99.31%, Precision 99.31%, Recall 99.31%, F1-Score 99.30%, serta nilai AUC-ROC 0.9999.
2. Pendekatan *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) menggunakan teknik Grad-CAM berhasil diterapkan pada model terbaik. Visualisasi heatmap yang dihasilkan mampu menyoroti area jaringan tumor secara presisi, membuktikan bahwa keputusan prediksi model didasarkan pada fitur patologis yang relevan, bukan pada noise atau latar belakang citra.
3. Aplikasi berbasis web "NeuroSight" berhasil dikembangkan menggunakan framework Flask. Aplikasi ini mampu mengintegrasikan model DenseNet-121 untuk melakukan klasifikasi secara real-time serta menampilkan visualisasi area tumor sebagai alat bantu diagnosis.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar hasil yang diperoleh lebih maksimal, penulis menyarankan beberapa hal berikut:

1. Menambahkan variasi kelas data yang lebih banyak, seperti jenis tumor Pituitary atau kelas No Tumor (Normal), serta memperbesar jumlah dataset agar model memiliki kemampuan generalisasi yang lebih luas dalam mengenali berbagai kondisi medis.
2. PMengembangkan sistem ke dalam platform yang lebih fleksibel, seperti aplikasi mobile (Android/iOS), sehingga dapat diakses secara praktis oleh tenaga medis melalui perangkat seluler tanpa terbatas pada perangkat komputer desktop.
3. Mengingat proses pelatihan model *Deep Learning* membutuhkan sumber daya komputasi yang besar, disarankan untuk mengeksplorasi teknik model yang lebih ringan seperti MobileNet atau EfficientNet-Lite, agar sistem dapat dijalankan pada perangkat mobile atau edge device dengan latensi yang lebih rendah.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., berhe Abrha, F., Kadir, B., dan Tamirat Tagesse, T. (2024). A Hybrid Deep Learning CNN model for COVID-19 detection from chest X-rays. *Heliyon*, 10(5), e26938. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26938> doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26938
- Abdusalomov, A. B., Mukhiddinov, M., dan Whangbo, T. K. (2023). Brain Tumor Detection Based on Deep Learning Approaches and Magnetic Resonance Imaging. *Cancers*, 15(16). doi: 10.3390/cancers15164172
- Adadi, A., dan Berrada, M. (2018). Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138–52160. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2870052
- Akça, S., Atban, F., Garip, Z., dan Ekinci, E. (2023). XAI in the hybrid classification of brain MRI tumor images. *Explainable Artificial Intelligence for Biomedical Applications*, 337–351. doi: 10.1201/9781032629353-16
- Akter, A., Nosheen, N., Ahmed, S., Hossain, M., Yousuf, M. A., Almoyad, M. A. A., ... Moni, M. A. (2024). Robust clinical applicable CNN and U-Net based algorithm for MRI classification and segmentation for brain tumor. *Expert Systems with Applications*, 238(PF), 122347. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122347> doi: 10.1016/j.eswa.2023.122347
- Alanazi, M. F., Ali, M. U., Hussain, S. J., Zafar, A., Mohatram, M., Irfan, M., ... Albarrak, A. M. (2022). Brain Tumor/Mass Classification Framework Using Magnetic-Resonance-Imaging-Based Isolated and Developed Transfer Deep-Learning Model. *Sensors*, 22(1). doi: 10.3390/s22010372
- Alsaif, H., Guesmi, R., Alshammari, B. M., Hamrouni, T., Guesmi, T., Alzamil, A., dan Belguesmi, L. (2022). A Novel Data Augmentation-Based Brain Tumor Detection Using Convolutional Neural Network. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(8). doi: 10.3390/app12083773
- Azubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., ... Farhan, L. (2021). *Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions* (Vol. 8) (No. 1). Springer International Publishing. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8> doi: 10.1186/s40537-021-00444-8
- Ammann, C., Hadler, T., Gröschel, J., Kolbitsch, C., dan Schulz-Menger, J. (2023). Multilevel comparison of deep learning models for function quantification

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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

in cardiovascular magnetic resonance: On the redundancy of architectural variations. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 10(April), 1–14. doi: 10.3389/fcvm.2023.1118499

Asif, S., Yi, W., Ain, Q. U., Hou, J., Yi, T., dan Si, J. (2022). Improving Effectiveness of Different Deep Transfer Learning-Based Models for Detecting Brain Tumors From MR Images. *IEEE Access*, 10, 34716–34730. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3153306

Balaha, H. M., dan Hassan, A. E. S. (2023). *Skin cancer diagnosis based on deep transfer learning and sparrow search algorithm* (Vol. 35) (No. 1). Springer London. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07762-9> doi: 10.1007/s00521-022-07762-9

Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Benetot, A., Tabik, S., Barbado, A., ... Herrera, F. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58(December 2019), 82–115. doi: 10.1016/j.inffus.2019.12.012

Bethlehem, R. A., Seidlitz, J., White, S. R., Vogel, J. W., Anderson, K. M., Adamson, C., ... Alexander-Bloch, A. F. (2022). Brain charts for the human lifespan. *Nature*, 604(7906), 525–533. doi: 10.1038/s41586-022-04554-y

Boussaad, L., dan Boucetta, A. (2022). Deep-learning based descriptors in application to aging problem in face recognition. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(6), 2975–2981. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.10.002> doi: 10.1016/j.jksuci.2020.10.002

Chen, H. Y., dan Lee, C. H. (2020). Vibration Signals Analysis by Explainable Artificial Intelligence (XAI) Approach: Application on Bearing Faults Diagnosis. *IEEE Access*, 8, 134246–134256. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006491

Chen, Z., Liu, H., Zhao, J., dan Bi, T. (2025). Small-Sample Event Identification Based on Adaptive Second-Order MDF and Triplet CNNs Using Distribution-Level Synchronized Measurements. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 16(1), 223–235. doi: 10.1109/TSG.2024.3454698

Darwish, A., Ezzat, D., dan Hassanien, A. E. (2020). An optimized model based on convolutional neural networks and orthogonal learning particle swarm optimization algorithm for plant diseases diagnosis. *Swarm and Evolutionary Computation*, 52, 100616. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2019.100616> doi: 10.1016/j.swevo.2019.100616



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Dhillon, A., dan Verma, G. K. (2020). Convolutional neural network: a review of models, methodologies and applications to object detection. *Progress in Artificial Intelligence*, 9(2), 85–112. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s13748-019-00203-0> doi: 10.1007/s13748-019-00203-0
- Doyoro, Y. G., Chang, P. Y., Puntu, J. M., Lin, D. J., Van Huu, T., Rahmalia, D. A., dan Shie, M. S. (2022). A review of open software resources in python for electrical resistivity modelling. *Geoscience Letters*, 9(1), 1–16. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s40562-022-00214-1> doi: 10.1186/s40562-022-00214-1
- Eder, M., Moser, E., Holzinger, A., Jean-Quartier, C., dan Jeanquartier, F. (2022). Interpretable Machine Learning with Brain Image and Survival Data. *BioMedInformatics*, 2(3), 492–510. doi: 10.3390/biomedinformatics2030031
- Gaur, L., Bhandari, M., Razdan, T., Mallik, S., dan Zhao, Z. (2022). Explanation-Driven Deep Learning Model for Prediction of Brain Tumour Status Using MRI Image Data. *Frontiers in Genetics*, 13(March), 1–9. doi: 10.3389/fgene.2022.822666
- Harahap, F. A. A., Nafisa, A. N., Purba, E. N. D. B., dan Putri, N. A. (2023). Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network Arsitektur Model Mobilenetv2 Dalam Klasifikasi Penyakit Tumor Otak Glioma, Pituitary Dan Meningioma. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, dan Aplikasinya (JTika)*, 5(1), 53–61. doi: 10.29303/jtika.v5i1.234
- Hassan, E., Shams, M. Y., Hikal, N. A., dan Elmougy, S. (2023). *The effect of choosing optimizer algorithms to improve computer vision tasks: a comparative study* (Vol. 82) (No. 11). Multimedia Tools and Applications. doi: 10.1007/s11042-022-13820-0
- Hidayatullah, R. (2021). *Klasifikasi Tumor Otak Menggunakan Convolutional Neural Network Dengan Arsitektur EfficientNet-B0* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau). Retrieved from <https://repository.uin-suska.ac.id/57864/>
- Ho, T. K. K., dan Gwak, J. (2019). Multiple feature integration for classification of thoracic disease in chest radiography. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(19). doi: 10.3390/app9194130
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., dan Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-Janua*, 2261–



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2269. doi: 10.1109/CVPR.2017.243
- Jan, V., Nankar, O., Jerrish, D. J., Gite, S., Patil, S., dan Kotecha, K. (2021). A Novel AI-Based System for Detection and Severity Prediction of Dementia Using MRI. *IEEE Access*, 9, 154324–154346. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3127394
- Joloudari, J. H., Marefat, A., Nematollahi, M. A., Oyelere, S. S., dan Hussain, S. (2023). Effective Class-Imbalance Learning Based on SMOTE and Convolutional Neural Networks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(6), 1–43. doi: 10.3390/app13064006
- Kader, I. A. E., Xu, G., Shuai, Z., Saminu, S., Javaid, I., dan Ahmad, I. S. (2021). Differential deep convolutional neural network model for brain tumor classification. *Brain Sciences*, 11(3). doi: 10.3390/brainsci11030352
- Kandel, I., dan Castelli, M. (2020). Transfer Learning with Convolutional Neural Networks for Diabetic Retinopathy Image Classification. A Review. *Applied Sciences*, 10(6), 2021. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/6/2021>
- Kang, J., Ullah, Z., dan Gwak, J. (2021). MRI-Based Brain Tumor Classification Using Ensemble of Deep Features and Machine Learning Classifiers. *Sensors*, 21(6), 1–21. doi: <https://doi.org/10.3390/s21062222>
- Khairandish, M. O., Sharma, M., Jain, V., Chatterjee, J. M., dan Jhanjhi, N. Z. (2022). A Hybrid CNN-SVM Threshold Segmentation Approach for Tumor Detection and Classification of MRI Brain Images. *Irbm*, 43(4), 290–299. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2021.06.003> doi: 10.1016/j.irbm.2021.06.003
- Komite Penanggulangan Kanker Nasional. (2019). Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Tumor Otak. *Kementerian Kesehatan RI*, 1(1), 146–153. Retrieved from <https://www.kemkes.go.id/article/view/19093000001/penyakit-jantung-penyebab-kematian-terbanyak-ke-2-di-indonesia.html>
- Li, F., Feng, R., Han, W., dan Wang, L. (2020). High-Resolution Remote Sensing Image Scene Classification via Key Filter Bank Based on Convolutional Neural Network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(11), 8077–8092. doi: 10.1109/TGRS.2020.2987060
- Li, M., Jiang, Y., Zhang, Y., dan Zhu, H. (2023). Medical image analysis using deep learning algorithms. *Frontiers in Public Health*, 11(November), 1–28. doi: 10.3389/fpubh.2023.1273253



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Linardatos, P., Papastefanopoulos, V., dan Kotsiantis, S. (2021). Explainable ai: A review of machine learning interpretability methods. *Entropy*, 23(1), 1–45. doi: 10.3390/e23010018
- Maqsood, S., Damaševičius, R., dan Maskeliūnas, R. (2022). Ttcnn: A breast cancer detection and classification towards computer-aided diagnosis using digital mammography in early stages. *Applied Sciences*, 12(7), 3273. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/app12073273> doi: 10.3390/app12073273
- Maqsood, S., Damaševičius, R., dan Maskeliūnas, R. (2022). Multi-Modal Brain Tumor Detection Using Deep Neural Network and Multiclass SVM. *Medicina (Lithuania)*, 58(8). doi: 10.3390/medicina58081090
- Marek, S., Tervo-Clemmens, B., Calabro, F. J., Montez, D. F., Kay, B. P., Hatoum, A. S., ... Dosenbach, N. U. (2022). Reproducible brain-wide association studies require thousands of individuals. *Nature*, 603(7902), 654–660. doi: 10.1038/s41586-022-04492-9
- Marmolejo-Saucedo, J. A., dan Kose, U. (2024). Numerical Grad-Cam Based Explainable Convolutional Neural Network for Brain Tumor Diagnosis. *Mobile Networks and Applications*, 29(1), 109–118. doi: 10.1007/s11036-022-02021-6
- Mastoi, Q. U. A., Latif, S., Brohi, S., Ahmad, J., Alqhatani, A., Alshehri, M. S., ... Ullah, R. (2025). Explainable AI in medical imaging: an interpretable and collaborative federated learning model for brain tumor classification. *Frontiers in Oncology*, 15(February), 1–16. doi: 10.3389/fonc.2025.1535478
- Menaouer, B., Dermane, Z., El Houda Kebir, N., dan Matta, N. (2022). Diabetic Retinopathy Classification Using Hybrid Deep Learning Approach. *SN Computer Science*, 3(5). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01240-8> doi: 10.1007/s42979-022-01240-8
- Mrugwe, A., Nyirenda, J., dan Dufourq, E. (2022). Automating Bird Detection Based on Webcam Captured Images using Deep Learning. *EPiC Series in Computing*, 85, 62–76. doi: 10.29007/9fr5
- Ostrom, Q. T., Price, M., Neff, C., Cioffi, G., Waite, K. A., Kruchko, C., dan Barnholtz-Sloan, J. S. (2022). CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2015–2019. *Neuro-Oncology*, 24(5 S), V1–V95. doi: 10.1093/neuonc/noac202
- Özkaraca, O., Bağrıaçık, O. İ., Gürüler, H., Khan, F., Hussain, J., Khan, J., dan



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Laila, U. e. (2023). Multiple Brain Tumor Classification with Dense CNN Architecture Using Brain MRI Images. *Life*, 13(2). doi: 10.3390/life13020349
- Rajakumari, R., dan Kalaivani, L. (2022). Breast cancer detection and classification using deep CNN techniques. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 32(2), 1089–1107. doi: 10.32604/iasc.2022.020178
- Ranjbarzadeh, R., Bagherian Kargari, A., Jafarzadeh Ghouschi, S., Anari, S., Naseri, M., dan Bendeche, M. (2021). Brain tumor segmentation based on deep learning and an attention mechanism using MRI multi-modalities brain images. *Scientific Reports*, 11(1), 1–17. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90428-8> doi: 10.1038/s41598-021-90428-8
- Raza, A., Ayub, H., Khan, J. A., Ahmad, I., Salama, A. S., Daradkeh, Y. I., ... Hamam, H. (2022). A Hybrid Deep Learning-Based Approach for Brain Tumor Classification. *Electronics (Switzerland)*, 11(7), 1–17. doi: 10.3390/electronics11071146
- Reddy, C. K. K., Reddy, P. A., Janapati, H., Assiri, B., Shuaib, M., Alam, S., dan Sheneamer, A. (2024). A fine-tuned vision transformer based enhanced multi-class brain tumor classification using MRI scan imagery. *Frontiers in Oncology*, 14(July), 1–23. doi: 10.3389/fonc.2024.1400341
- Reyad, M., Sarhan, A. M., dan Arafa, M. (2023). A modified Adam algorithm for deep neural network optimization. *Neural Computing and Applications*, 35(23), 17095–17112. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08568-z> doi: 10.1007/s00521-023-08568-z
- Reyes, D., dan Sánchez, J. (2024). Performance of convolutional neural networks for the classification of brain tumors using magnetic resonance imaging. *Heliyon*, 10(3), e25468. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25468> doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25468
- S Band, S., Yarahmadi, A., Hsu, C. C., Biyari, M., Sookhak, M., Ameri, R., ... Liang, H. W. (2023). Application of explainable artificial intelligence in medical health: A systematic review of interpretability methods. *Informatics in Medicine Unlocked*, 40(March), 101286. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101286> doi: 10.1016/j.imu.2023.101286
- Saeedi, S., Rezayi, S., Keshavarz, H., dan R. Niakan Kalhori, S. (2023). MRI-based brain tumor detection using convolutional deep learning methods and chosen machine learning techniques. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 23(1), 1–17. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02114-6> doi: 10.1186/s12911-023-02114-6



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., dan Batra, D. (2017). Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017-Octob*, 618–626. doi: 10.1109/ICCV.2017.74
- Senan, E. M., Jadhav, M. E., Rassem, T. H., Aljaloud, A. S., Mohammed, B. A., dan Al-Mekhlafi, Z. G. (2022). Early Diagnosis of Brain Tumour MRI Images Using Hybrid Techniques between Deep and Machine Learning. *Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2022*. doi: 10.1155/2022/8330833
- Severance, C. (2015). Guido van Rossum: The early years of python. *Computer, 48*(2), 7–9. doi: 10.1109/MC.2015.45
- Shah, H. A., Saeed, F., Yun, S., Park, J. H., Paul, A., dan Kang, J. M. (2022). A Robust Approach for Brain Tumor Detection in Magnetic Resonance Images Using Finetuned EfficientNet. *IEEE Access, 10*, 65426–65438. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3184113
- Sharif, M. I., Li, J. P., Khan, M. A., dan Saleem, M. A. (2020). Active deep neural network features selection for segmentation and recognition of brain tumors using MRI images. *Pattern Recognition Letters, 129*, 181–189. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2019.11.019> doi: 10.1016/j.patrec.2019.11.019
- Shehab, L. H., Fahmy, O. M., Gasser, S. M., dan El-Mahallawy, M. S. (2021). An efficient brain tumor image segmentation based on deep residual networks (ResNets). *Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 33*(6), 404–412. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.06.001> doi: 10.1016/j.jksues.2020.06.001
- Soomro, T. A., Zheng, L., Afifi, A. J., Ali, A., Soomro, S., Yin, M., dan Gao, J. (2023). Image Segmentation for MR Brain Tumor Detection Using Machine Learning: A Review. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 16*(Xx), 70–90. doi: 10.1109/RBME.2022.3185292
- Srinivas, C., Nandini, N. P., Zakariah, M., Alothaibi, Y. A., Shaukat, K., Partibane, B., dan Awal, H. (2022). Deep Transfer Learning Approaches in Performance Analysis of Brain Tumor Classification Using MRI Images. *Journal of Healthcare Engineering, 2022*. doi: 10.1155/2022/3264367
- Tandel, G. S., Biswas, M., Kakde, O. G., Tiwari, A., Suri, H. S., Turk, M., ... Suri, J. S. (2019). A review on a deep learning perspective in brain cancer classification. *Cancers, 11*(1). doi: 10.3390/cancers11010111



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Tashtoush, Y., Obeidat, R., Al-Shorman, A., Darwish, O., Al-Ramahi, M., dan Darweesh, D. (2023). Enhanced convolutional neural network for non-small cell lung cancer classification. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(1), 1024–1038. doi: 10.11591/ijece.v13i1.pp1024-1038
- Ullah, N., Khan, J. A., Khan, M. S., Khan, W., Hassan, I., Obayya, M., ... Salama, A. S. (2022). An Effective Approach to Detect and Identify Brain Tumors Using Transfer Learning. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(11). doi: 10.3390/app12115645
- Umair, M., Khan, M. S., Ahmed, F., Baothman, F., Alqahtani, F., Alian, M., dan Ahmad, J. (2021). Detection of COVID-19 using transfer learning and grad-cam visualization on indigenously collected X-ray dataset. *Sensors*, 21(17). doi: 10.3390/s21175813
- Usmani, I. A., Qadri, M. T., Zia, R., Alrayes, F. S., Saidani, O., dan Dashtipour, K. (2023). Interactive Effect of Learning Rate and Batch Size to Implement Transfer Learning for Brain Tumor Classification. *Electronics (Switzerland)*, 12(4), 1–23. doi: 10.3390/electronics12040964
- Valentino, A. (2025). *Wawancara Pribadi mengenai Diagnosis Tumor Otak Klinis di RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau*. Pekanbaru: RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau.
- van der Velden, B. H., Kuijff, H. J., Gilhuijs, K. G., dan Viergever, M. A. (2022). Explainable artificial intelligence (XAI) in deep learning-based medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 79, 102470. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.media.2022.102470> doi: 10.1016/j.media.2022.102470
- Velpula, V. K., Vadlamudi, J. S., Janapati, M., Kasaraneni, P. P., Kumar, Y. V. P., Challa, P. R., dan Mallipeddi, R. (2025). Enhanced brain tumor classification using convolutional neural networks and ensemble voting classifier for improved diagnostic accuracy. *Computers and Electrical Engineering*, 123(PB), 110124. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2025.110124> doi: 10.1016/j.compeleceng.2025.110124
- Yang, C., Fridgeirsson, E. A., Kors, J. A., Reps, J. M., dan Rijnbeek, P. R. (2024). Impact of random oversampling and random undersampling on the performance of prediction models developed using observational health data. *Journal of Big Data*, 11(1). Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00857-7> doi: 10.1186/s40537-023-00857-7
- Yoon, S. (2025). Brain tumor classification using a hybrid ensemble of Xcep-



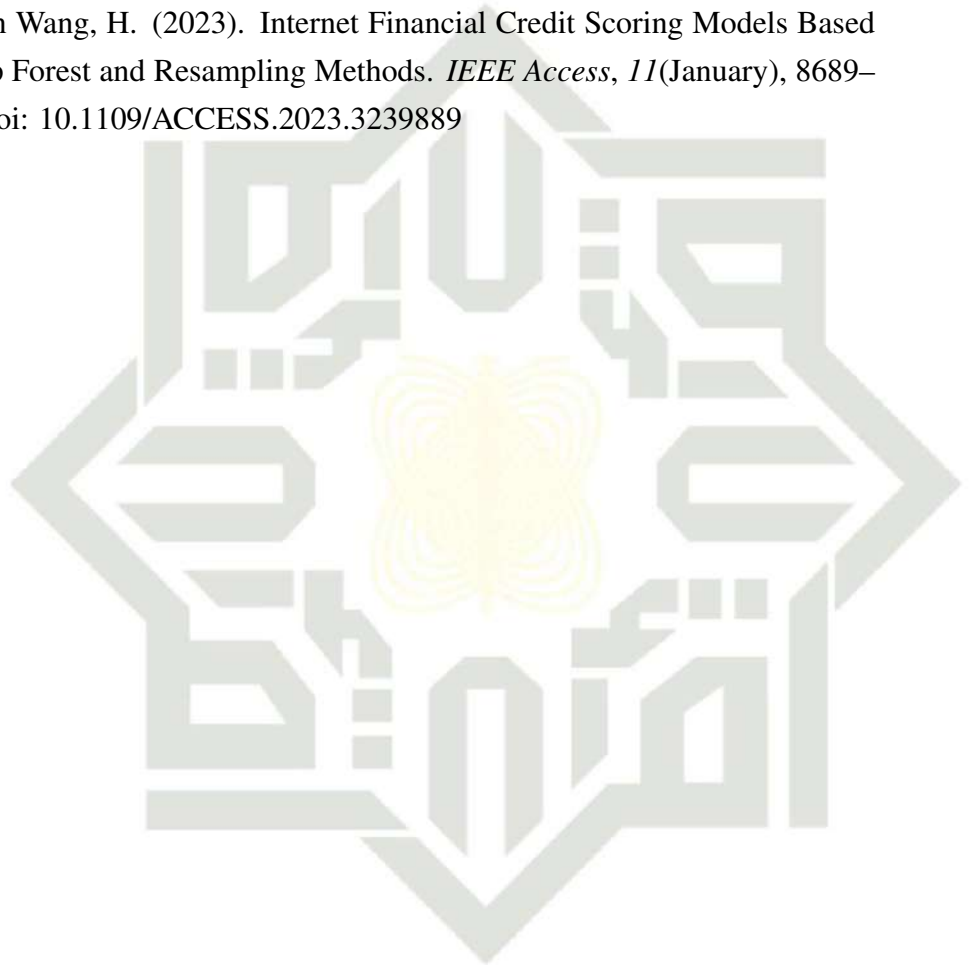
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

tion and parallel deep CNN models. *Informatics in Medicine Unlocked*, 54(January), 101629. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.imu.2025.101629> doi: 10.1016/j.imu.2025.101629

Zeineldin, R. A., Karar, M. E., Elshaer, Z., Coburger, J., Wirtz, C. R., Burgert, O., dan Mathis-Ullrich, F. (2022). Explainability of deep neural networks for MRI analysis of brain tumors. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 17(9), 1673–1683. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11548-022-02619-x> doi: 10.1007/s11548-022-02619-x

Zhong, Y., dan Wang, H. (2023). Internet Financial Credit Scoring Models Based on Deep Forest and Resampling Methods. *IEEE Access*, 11(January), 8689–8700. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3239889



UIN SUSKA RIAU



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN A HASIL WAWANCARA

BERITA WAWANCARA

Pada hari ini,

Telah dilaksanakan wawancara penelitian dalam rangka penyusunan Tugas Akhir berjudul "Klasifikasi Tumor Otak Menggunakan Deep Learning dengan Pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI)". Wawancara ini bertujuan untuk memperoleh informasi dan validasi data mengenai citra MRI tumor otak dari sudut pandang medis.

Tempat Wawancara : RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau

Hari/Tanggal : Senin/27 Oktober 2025

Waktu : ~~Besok~~ 13.05 - 13.54

I. Identitas Narasumber

Nama Narasumber : Dr. Andrea Valentino

Jabatan/Specialisasi : Bedah Saraf

Instansi : RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau

Demikian berita acara ini dibuat sebagai bukti pelaksanaan wawancara. Informasi yang diperoleh akan digunakan sebagai data pendukung dalam penyusunan Tugas Akhir dan dijaga kerahasiaannya sesuai etika penelitian.

Mengetahui,

Pekanbaru, 27 Oktober 2025

Peneliti

Novrian Pratama
12250313668

Narasumber

(Dr. Andrea Valentino)

Gambar A.1. Hasil Wawancara dengan Dokter Spesialis Saraf Manusia



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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PERTANYAAN WAWANCARA

1. Penyakit apa yang sering dialami pasien? Dan keluhan seperti apa yang sering disampaikan pasien?

trauma kecelakaan, varikosa/pembuluh darah, tumor, tulang belakang, bawahan.

2. Pasien usia berapa yang sering berobat ke bagian Radiologi dan biasanya mengidap penyakit apa?

trauma kepala 15-40 tahun

3. Apa itu penyakit tumor otak Glioma dan Meningioma?

Meningioma jinak umur 40 tahun
Glioma ganas ditemukan ganas 50 tahun keatas

4. Apa saja gejala/ciri-ciri penderita penyakit tumor otak Glioma dan Meningioma, serta cara membedakan kedua jenis tumor otak tersebut?

Glioma, gejala letargi kronis dan terganggu locus
gagasan bergiliran. Gejala hampir sama.

5. Berdasarkan pengalaman dokter di Pekanbaru dan Indoneisa, apakah kasus tumor otak tergolong sering ditemukan? Bagaimana tren kasusnya dalam beberapa tahun terakhir?

tren tidak meningkat dengan BGS. Kasus meningkat

6. Apa saja kesulitan yang sering dihadapi oleh dokter saat membaca atau menafsirkan citra MRI tumor otak?

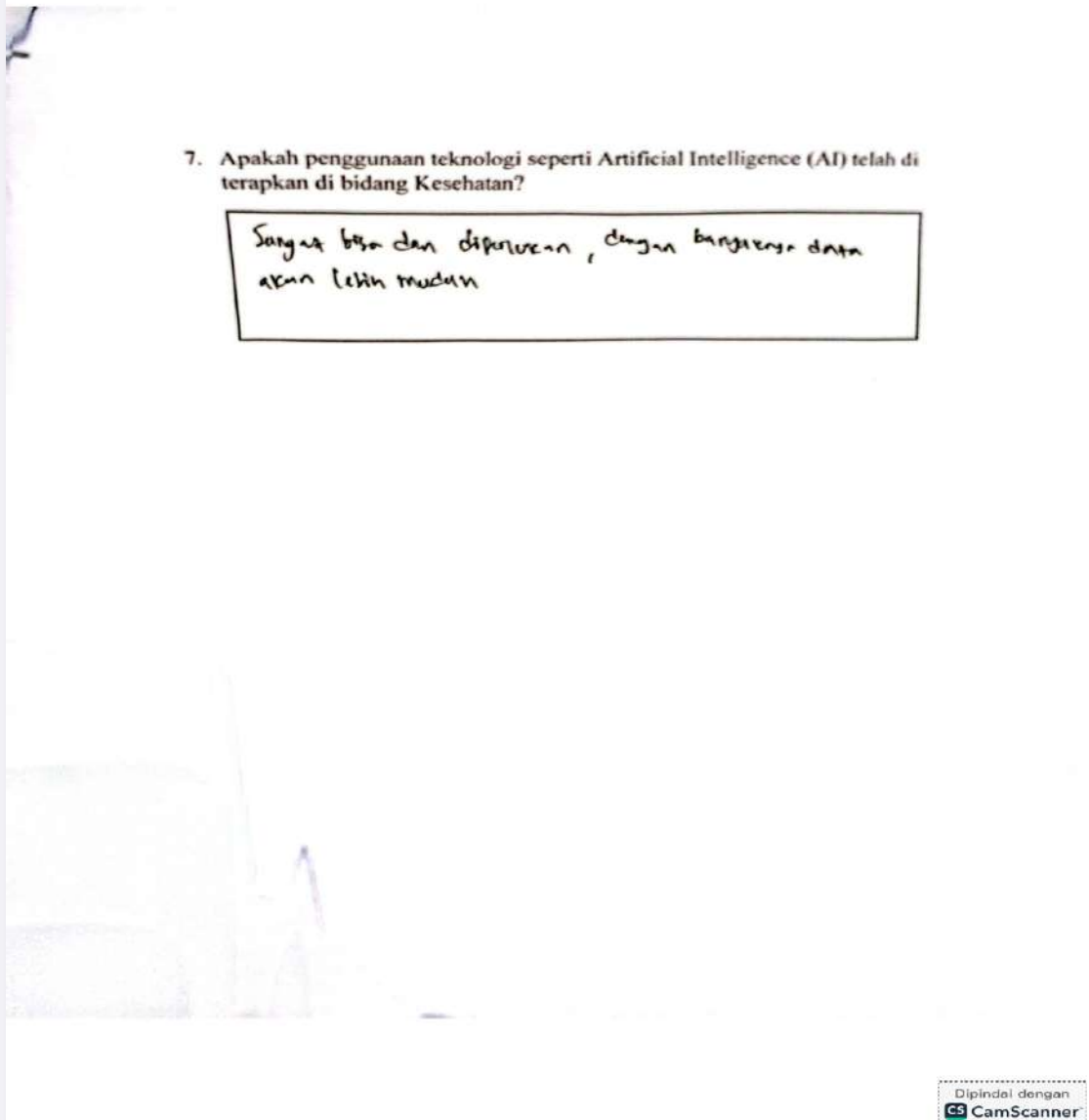
Pengalaman 12 tahun, karena MRI tidak ada
lebih lanjut. Unduh kasus border line. Glioma

Gambar A.2. Hasil Wawancara dengan Dokter Spesialis Saraf Manusia

UIN SUSKA RIAU

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar A.3. Hasil Wawancara dengan Dokter Spesialis Saraf Manusia

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B

HASIL OBSERVASI



Gambar B.1. Observasi ke RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau



Gambar B.2. Observasi ke RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau



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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN C

SURAT IZIN PENELITIAN



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

كلية العلوم و التكنولوجيا

FACULTY OF SCIENCES AND TECHNOLOGY

JL. H.R Soebrantas KM 15 No. 155 Tuah Madani Kec. Tuah Madani- Pekanbaru 28298 PO Box. 1004
Fax. (0761) 589 025 Web: www.uin-suska.ac.id E-mail: faste@uin-suska.ac.id

Nomor : B-6797 / F.V/PP.009/09/2025
Sifat : Biasa
Hal : Mohon Izin Penelitian dan Pengambilan Data
Tugas Akhir/Skripsi

Pekanbaru, 29 September 2025

Kepada Yth.
Pimpinan RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau
Jl. Diponegoro No.2, Sumahilang, Kec. Pekanbaru Kota
Pekanbaru, Riau 28156

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan hormat, Sehubungan telah dimulainya mata kuliah Tugas Akhir pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau, kami bermaksud mengirimkan mahasiswa:

Nama : Novrian Pratama
NIM : 12250313668
Fakultas : Sains dan Teknologi
Program Studi/Smt : Sistem Informasi / 7
No. Hp/E-mail : 082287342282

untuk pengambilan data yang sangat dibutuhkan dalam Tugas akhir mahasiswa tersebut yang berjudul "Penerapan Deep Learning Untuk Klasifikasi Tumor Otak Dengan Pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI)". Kami mohon kiranya saudara berkenan memberikan izin dan fasilitas demi kelancaran Tugas Akhir mahasiswa yang bersangkutan.

Demikian surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama Saudara kami ucapkan terima kasih.

Wassalam
Dekan



Dr. Maslenita Muda, M.Sc
NIP. 197701032007102001



Dokumen ini telah ditanda tangani secara elektronik.

Token : Ptxbwsj

Gambar C.1. Surat Izin Penelitian dari Fakultas Sains dan Teknologi



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 UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



PEMERINTAH PROVINSI RIAU RSUD ARIFIN ACHMAD

Jl. Diponegoro No. 2 Telp. (0761) - 23418, 21618, 21657, Fax (0761) - 20253
Pekanbaru



NOTA DINAS

Yth. : Kepala Bidang Pelayanan Medik
Dari : Wakil Direktur Bidang Umum SDM Dan Pendidikan
Tembusan :
Tanggal : 28 Oktober 2025
Nomor : 000.9.2/RSUDAA/684/2025
Sifat : Biasa
Lampiran :
Hal : Izin Pengambilan Data

Menindaklanjuti surat dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Nomor: B-797/F.V/PP.00.9/09/2025 Tanggal 29 September 2025 perihal Izin Pengambilan Data / Pra Riset bersama ini disampaikan bahwa RSUD Arifin Achmad dapat menerima mahasiswa/i:

Nama : NOVRIAN PRATAMA
NIM : 122750313668
Program Studi : S1. Sistem Informasi

Untuk melakukan kegiatan Pengambilan Data dengan Judul "Penerapan Deep Learning Untuk Klasifikasi Tumor Otak Dengan Pendekatan Explainable Artificial Intelligence (XAI)" dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Tidak diperkenankan mengambil data dengan cara melakukan tindakan teknis/medis secara langsung kepada responden (pasien).
2. Pengambilan data tidak diperkenankan dengan cara memfoto, foto copy maupun menscaner data.
3. Tidak diperkenankan melakukan kegiatan selain pengambilan data
4. Izin pengambilan data berlaku selama 1 (satu) bulan terhitung dari tanggal terbitnya surat ini.
5. Pengambilan data hanya berlaku untuk data sekunder pasien

Untuk itu diminta kepada Kepala Bidang Pelayanan Medik RSUD Arifin Achmad untuk dapat memberikan data dan informasi yang diperlukan oleh mahasiswa/i tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian disampaikan untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Wakil Direktur Bidang Umum, SDM &
Pendidikan



drg. Yusi Prastiningsih, MM
Pembina Tk I / IV B
NIP. 197200319 200012 2 002

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan tanda elektronik yang diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara (BSSN).

Gambar C.2. Surat Izin Penelitian dari RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau



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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



YAYASAN PENDIDIKAN PAYUNG NEGERI PEKANBARU INSTITUT KESEHATAN PAYUNG NEGERI PEKANBARU

KEPUTUSAN MENDIKBUDRISTEK NOMOR: 604/E/O/2023

Terakreditasi "B/BAIK SEKALI" Keputusan BAN-PT No: 1379/SK/BAN-PT/Ak-PNB/PT/VII/2024
Jalan Tamtama No. 06 Kelurahan Labuh Baru Timur Kecamatan Payung Sekaki Kota Pekanbaru, Riau
Telepon. (0761) 885214; Homepage: <http://ikes.payungnegeri.ac.id>; Email: info@payungnegeri.ac.id

KETERANGAN LAYAK ETIK DESCRIPTION OF ETHICAL EXEMPTION "ETHICAL EXEMPTION"

No.128/IKES PN/KEPK/X/2025

Protokol penelitian versi 1 yang diusulkan oleh :
The research protocol proposed by

Peneliti utama : NOVRIAN PRATAMA

Principal In Investigator

Nama Institusi : Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Name of the Institution

Dengan judul:
Title

"PENERAPAN DEEP LEARNING UNTUK KLASIFIKASI TUMOR OTAK DENGAN PENDEKATAN EXPLAINABLE
ARTIFICIAL INTELLIGENCE XAI"

" APPLICATION OF DEEP LEARNING FOR BRAIN TUMOUR CLASSIFICATION USING THE EXPLAINABLE ARTIFICIAL
INTELLIGENCE (XAI) APPROACH "

Dinyatakan layak etik sesuai 7 (tujuh) Standar WHO 2011, yaitu 1) Nilai Sosial, 2) Nilai Ilmiah, 3) Pemerataan Beban dan Manfaat, 4) Risiko, 5) Bujukan/Eksploitasi, 6) Kerahasiaan dan Privacy, dan 7) Persetujuan Setelah Penjelasan, yang merujuk pada Pedoman CIOMS 2016. Hal ini seperti yang ditunjukkan oleh terpenuhinya indikator setiap standar.

Declared to be ethically appropriate in accordance to 7 (seven) WHO 2011 Standards, 1) Social Values, 2) Scientific Values, 3) Equitable Assessment and Benefits, 4) Risks, 5) Persuasion/Exploitation, 6) Confidentiality and Privacy, and 7) Informed Consent, referring to the 2016 CIOMS Guidelines. This is as indicated by the fulfillment of the indicators of each standard.

Pernyataan Laik Etik ini berlaku selama kurun waktu tanggal 18 Oktober 2025 sampai dengan tanggal 18 Oktober 2026
This declaration of ethics applies during the period October 18, 2025 until October 03, 2026

October 18, 2025
Chair person,



Dr. Ezalima, Skep, Ns, Mkes

Gambar C.3. Surat Kode Etik Penelitian dari Institut Kesehatan Payung Negeri Pekanbaru



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Novrian Pratama lahir di Tembilahan pada tanggal 02 November 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putra dari Ibu Musliha, yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan dorongan dalam menempuh pendidikan hingga jenjang perguruan tinggi. Peneliti menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 009 Tembilahan, Kecamatan Indragiri Hilir pada tahun 2015, kemudian menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di MTs Negeri 1 Tembilahan pada tahun 2018, kemudian menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Tembilahan Hulu pada tahun 2021. Penulis mengambil Gap year selama 1 tahun dan pada tahun 2022 penulis melanjutkan studi ke jenjang pendidikan tinggi setelah diterima sebagai mahasiswa Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Peneliti lulus di UIN Suska Riau melalui jalur SMMPTN Barat pilihan kedua Prodi Sistem Informasi. Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam berbagai kegiatan akademik dan non-akademik. Penulis tergabung dalam beberapa organisasi kemahasiswaan, di antaranya Google Developer Student Clubs (GDSC) UIN Sultan Syarif Kasim Riau, Generasi Baru Indonesia (GenBI) Riau, serta Puzzle Research Data Technology (PREDATECH) sebagai Koordinator Utama Mahasiswa. Melalui keterlibatan tersebut, penulis aktif dalam kegiatan pengembangan kompetensi mahasiswa di bidang teknologi, data, dan kepemimpinan. Tidak hanya belajar di dalam kelas, peneliti juga mengikuti beberapa program yaitu program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) studi independen bersertifikat di Coding Camp Powered by DBS Foundation, program akademik internasional di Krirk University (Thailand) dalam bidang persiapan akademik dan kemampuan bahasa Inggris, serta program Mathematics and Computer Science di Universiti Malaysia Terengganu. Pada tahun 2025, penulis mengikuti Program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Internasional yang dilaksanakan di Provinsi Lampung, sebagai bentuk pengabdian kepada masyarakat sekaligus implementasi nilai-nilai akademik dan sosial dalam konteks lintas budaya dan wilayah.

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 UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.