

# Klasifikasi Tumor Otak pada Citra MRI Menggunakan Arsitektur CNN Xception Berbasis Transfer Learning dan Fine-Tuning

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Otak merupakan pusat sistem saraf yang memiliki peran penting dalam mengatur seluruh aktivitas tubuh manusia, mulai dari proses kognitif, sensorik, hingga pengendalian fungsi vital. Struktur otak tersusun atas jaringan kompleks yang terdiri dari neuron dan sel glia yang saling berinteraksi untuk menjaga keseimbangan sistem tubuh. Gangguan pada struktur ini dapat menyebabkan kerusakan serius terhadap fungsi fisiologis maupun mental seseorang. Dalam konteks medis, tumor otak didefinisikan sebagai pertumbuhan sel abnormal pada jaringan otak yang dapat bersifat jinak maupun ganas, dan dapat mengganggu fungsi normal sistem saraf [1]. Perubahan sel abnormal ini dapat berasal dari jaringan otak itu sendiri (tumor primer) atau hasil penyebaran dari organ lain (tumor sekunder) yang memengaruhi jaringan otak [2]. Kondisi ini menunjukkan bahwa tumor otak bukan hanya menjadi masalah kesehatan individu, tetapi juga tantangan medis global yang memerlukan perhatian serius dari berbagai bidang, khususnya dalam hal diagnosis dan penanganannya.

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas penyakit dan dampak yang ditimbulkannya, perhatian terhadap prevalensi dan angka kematian akibat tumor otak terus menjadi fokus utama di tingkat global maupun nasional. Di tengah berbagai tantangan kesehatan global, tumor otak dianggap sebagai salah satu penyakit yang sangat berbahaya bahkan menduduki peringkat kelima sebagai penyumbang kematian terbesar di dunia [3]. Secara global, insiden dan prevalensi tumor otak dan kanker sistem saraf pusat mengalami peningkatan dari 1990 hingga 2021, dengan angka insiden meningkat dari 3,75 per 100.000 menjadi 4,28 per 100.000 pada 2021 [4]. Di Indonesia sendiri, meskipun data epidemiologi masih terbatas, satu kajian mencatat adanya 5.964 kasus baru tumor otak pada tahun 2020, dan sekitar 5.298 kematian akibat kondisi ini dalam periode yang sama [5]. Sementara itu, dalam praktik klinis di Indonesia, tercatat sekitar 300 kasus baru tumor otak didiagnosis setiap tahunnya, dan jumlah tersebut diperkirakan akan terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun [6]. Peningkatan angka kejadian tersebut menegaskan pentingnya pengembangan metode diagnosis dini yang akurat, cepat, dan non-invasif untuk membantu pengambilan keputusan medis secara efektif.

Dalam konteks tersebut, teknologi pencitraan medis non-invasif seperti *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) memegang peran krusial dalam proses diagnosis tumor otak.

MRI mampu menampilkan gambaran struktur otak dengan resolusi tinggi, mendeteksi perubahan jaringan otak sebelum timbul gejala berat, serta membantu membedakan antara tumor primer ataupun sekunder. Misalnya, dalam studi di Indonesia dikembangkan sistem penilaian MRI yang mampu membedakan antara Glioblastoma dan metastasis otak dengan akurasi mencapai lebih dari 90% [7]. Namun disisi lain, tinjauan global menunjukkan bahwa kemajuan dalam teknologi pencitraan dan analisis citra (termasuk algoritma kecerdasan buatan pada MRI) menawarkan potensi peningkatan deteksi dini dan klasifikasi tumor otak secara non-invasif [8].

Meskipun penggunaan pencitraan medis non-invasif seperti MRI sangat membantu dalam diagnosis tumor otak, masih terdapat hambatan nyata dalam praktik klinis. Pertama, proses diagnosis manual oleh dokter atau radiolog memerlukan waktu yang cukup panjang dan keahlian tinggi, karena harus mengevaluasi banyak gambar MRI dan menafsirkan pola kompleks dalam jaringan otak. Studi [9] menunjukkan bahwa diagnosis konvensional seringkali membebani radiolog dan memperlambat alur klinis. Kedua, volume data MRI yang dihasilkan dalam pemeriksaan rutin sangat besar, satu pemeriksaan bisa menghasilkan ratusan hingga ribuan potongan citra sehingga analisis manual menjadi tidak efisien dan rawan kelelahan operator serta keterlambatan dalam pengambilan keputusan [10]. Ketiga, tingkat kesalahan diagnosis masih bisa terjadi karena faktor subjektivitas manusia. Interpretasi citra bisa berbeda antar radiolog, dan berbagai jenis bias kognitif serta variasi kualitas gambar turut memengaruhi hasil. Sebuah tinjauan menyatakan bahwa kesalahan diagnostik di departemen radiologi sering meliputi aspek persepsi dan bias manusia [11].

Kendala-kendala dalam diagnosis manual tersebut mendorong kebutuhan akan sistem analisis citra medis yang lebih efisien, akurat, dan bebas dari subjektivitas manusia. Permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian ini adalah bagaimana mengklasifikasikan jenis tumor otak dari citra MRI secara otomatis dan akurat dengan memanfaatkan teknologi *deep learning*. Pendekatan ini dinilai mampu meniru kemampuan visual manusia dalam mengenali pola kompleks, namun dengan kecepatan dan konsistensi yang lebih tinggi. Salah satu metode *deep learning* yang banyak digunakan dalam bidang ini adalah *Convolutional Neural Network* (CNN), karena kemampuannya dalam mengekstraksi fitur spasial dari citra medis dan mengoptimalkan proses klasifikasi secara end-to-end [12].

Seiring dengan perkembangan arsitektur CNN, penelitian ini fokus diarahkan pada arsitektur Xception, yang merupakan pengembangan dari CNN konvensional dengan menerapkan mekanisme *depthwise separable convolution* sehingga mampu meningkatkan efisiensi komputasi tanpa mengurangi performa klasifikasi. Studi terkini menunjukkan

bahwa model Xception mampu mencapai akurasi lebih dari 98% dalam mengklasifikasikan citra MRI otak ke dalam beberapa kategori tumor, melampaui performa arsitektur populer lainnya seperti ResNet50 dan VGG16 [12],[13] Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengimplementasikan arsitektur Xception sebagai pendekatan utama dalam klasifikasi citra MRI tumor otak, guna mendukung proses diagnosis medis yang lebih cepat, objektif, dan andal di masa mendatang.

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan arsitektur CNN seperti MobileNetV2, DenseNet201, ResNet50, dan InceptionV3 untuk klasifikasi tumor otak dari citra MRI [14]. Sebagai penyempurnaan, arsitektur Xception dikembangkan dengan memanfaatkan *depthwise separable convolution*, yang meningkatkan efisiensi komputasi sekaligus akurasi klasifikasi. Sebuah studi [12] menunjukkan Xception mencapai akurasi hingga 98,73% dalam klasifikasi multi-kelas tumor otak. Dengan demikian, penelitian ini dibangun berdasarkan riset terdahulu dengan fokus khusus pada pengembangan Xception untuk klasifikasi citra MRI tumor otak secara otomatis dan akurat dengan memanfaatkan pendekatan *transfer learning* dan *fine-tuning*.

Penelitian ini menggunakan dataset yang lebih besar dibanding penelitian sebelumnya yaitu sebanyak 7.023 dataset yang terdiri dari empat kelas, glioma, meningioma, pituitary, dan notumor. Kemudian dilakukan proses augmentasi citra yang diperketat sebanyak 7 jenis augmentasi untuk memperkuat kemampuan generalisasi model. Evaluasi kinerja model dilakukan dengan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score, serta analisis tambahan seperti *confusion matrix*, *Learning Curve*, dan menampilkan visualisasi interpretatif terhadap keputusan model *Convolutional Neural Network (CNN)* dengan memanfaatkan Grad-CAM (*Gradient-weighted Class Activation Mapping*).

Secara teoretis, penelitian ini berlandaskan pada teori *deep learning* dan arsitektur CNN sebagaimana dikemukakan oleh LeCun, Bengio, dan Hinton [15]. CNN bekerja melalui proses konvolusi dan *pooling* untuk mengekstraksi fitur dari citra dan melakukan propagasi balik dalam pembelajaran representasi visual. Dalam konteks medis, Litjens et al. [16] dan Lundervold et.al [17] membuktikan bahwa CNN memberikan peningkatan signifikan dibanding metode berbasis fitur tradisional. Arsitektur Xception yang diperkenalkan oleh François Chollet [18] menggunakan *depthwise separable convolution* yang memisahkan filtrasi spasial dan kanal untuk mengurangi kompleksitas parameter tanpa menurunkan akurasi.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem klasifikasi tumor otak menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Network (CNN)* Xception yang efisien dan akurat. Model yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan solusi diagnosis yang cepat, objektif, serta membantu radiolog dalam proses

pengambilan keputusan medis. Dengan demikian, penulis melaksanakan penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk laporan skripsi berjudul: "**Klasifikasi Tumor Otak pada Citra MRI Menggunakan Arsitektur CNN Xception Berbasis *Transfer Learning* dan *Fine-Tuning*.**"

### **1.2. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Proses diagnosis tumor otak secara manual melalui citra MRI membutuhkan waktu lama dan bergantung pada keahlian radiolog, sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan medis.
2. Volume data citra MRI yang besar menyebabkan proses analisis manual menjadi tidak efisien dan meningkatkan risiko kelelahan serta kesalahan interpretasi.
3. Faktor subjektivitas manusia dapat memengaruhi hasil diagnosis karena adanya perbedaan interpretasi antar radiolog.
4. Diperlukan sistem klasifikasi citra tumor otak otomatis yang efisien, akurat, dan mampu mengurangi subjektivitas manusia dalam proses diagnosis.
5. Belum banyak penelitian yang secara komprehensif menerapkan arsitektur *CNN Xception* berbasis *transfer learning* dan *fine-tuning* untuk klasifikasi tumor otak pada dataset berskala besar dengan visualisasi hasil menggunakan *Grad-CAM*.

### **1.3. Batasan Masalah**

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra MRI otak dengan empat kelas, yaitu *glioma*, *meningioma*, *pituitary tumor*, dan *no tumor*.
2. Model yang digunakan adalah Convolutional Neural Network (CNN) dengan arsitektur Xception yang dioptimalkan menggunakan pendekatan transfer learning dan fine-tuning.
3. Data citra akan melalui proses augmentasi sebanyak tujuh jenis transformasi untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model.
4. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan akurasi, presisi, recall, F1-score, serta analisis tambahan berupa confusion matrix, learning curve, dan visualisasi Grad-CAM.
5. Penelitian ini berfokus pada klasifikasi citra MRI tumor otak, tanpa membahas segmentasi atau deteksi lokasi tumor secara spesifik.

#### 1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengimplementasikan arsitektur CNN Xception berbasis *transfer learning* dan *fine-tuning* untuk klasifikasi citra MRI tumor otak?
2. Seberapa tinggi tingkat akurasi dan kinerja model CNN Xception dalam mengklasifikasikan citra MRI tumor otak ke dalam empat kelas berbeda?
3. Bagaimana hasil visualisasi *Grad-CAM* dapat menjelaskan interpretasi keputusan model dalam klasifikasi citra MRI tumor otak?

#### 1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan model klasifikasi citra MRI tumor otak menggunakan arsitektur CNN Xception berbasis *transfer learning* dan *fine-tuning*.
2. Mengevaluasi performa model CNN Xception dalam mengklasifikasikan tumor otak berdasarkan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score.
3. Menyajikan hasil interpretasi model menggunakan *Grad-CAM* untuk memberikan pemahaman visual terhadap area citra yang memengaruhi hasil klasifikasi.

#### 1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

- a. Manfaat Akademis:
  - Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem klasifikasi citra medis berbasis *deep learning*, khususnya arsitektur CNN Xception.
  - Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada penerapan *transfer learning* dan *fine-tuning* dalam bidang pencitraan medis.
- b. Manfaat Praktis:
  - Membantu radiolog dan tenaga medis dalam mempercepat proses diagnosis tumor otak secara objektif dan efisien.
  - Menyediakan model kecerdasan buatan yang dapat diintegrasikan dengan sistem pencitraan medis untuk meningkatkan akurasi deteksi tumor otak.
- c. Manfaat Sosial:

- Mendukung upaya peningkatan kualitas layanan kesehatan masyarakat melalui pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan dalam diagnosis penyakit kritis seperti tumor otak.

## REFERENSI

- [1] H. Br Tarigan, D. Kristanto Mulyantoro, and D. Rochmayanti, "DETEKSI TUMOR OTAK PADA CITRA MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI) BRAIN DENGAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)," 2025, [Online]. Available: <http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/ners>
- [2] R. Andre, B. Wahyu, and R. Purbaningtyas, "KLASIFIKASI TUMOR OTAK MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK DENGAN ARSITEKTUR EFFICIENTNET-B3," 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/just-it/index>
- [3] E. H. Rachmawanto, D. Hermanto, Z. Pratama, and C. A. Sari, "Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi (SEMNAS RISTEK) 2024 Jakarta," 2024.
- [4] J. Zhou *et al.*, "The global, regional, and national brain and CNS cancers burden and trends from 1990 to 2021," *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, p. 19228, Jun. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-04636-7.
- [5] K. S. Bintang, R. Novirianthy, and H. Hidayaturrahmi, "Imaging Profile of Intracranial Tumors at Dr. Zainoel Abidin Regional General Hospital Banda Aceh," *Indonesian Journal of Cancer*, vol. 18, no. 2, pp. 184–190, Jun. 2024, doi: 10.33371/ijoc.v18i2.1139.
- [6] N. P. Muzdalifah *et al.*, "Science Midwifery Analysis of axial T2 TSE images using deep learning reconstruction in MRI of brain tumors," Online, 2025. [Online]. Available: [www.midwifery.iocspublisher.org](http://www.midwifery.iocspublisher.org)Journalhomepage:[www.midwifery.iocspublisher.org](http://www.midwifery.iocspublisher.org)
- [7] N. V. Stevina, N. N. Margiani, I. G. A. G. M. Wijaya, I. G. R. Widiana, F. P. Sitanggang, and P. P. Y. Anandasari, "Validity of brain Magnetic Resonance Imaging (MRI) scoring system in differentiating glioblastoma from brain metastasis in adult patients," *Indonesia Journal of Biomedical Science*, vol. 19, no. 1, pp. 6–15, Feb. 2025, doi: 10.15562/ijbs.v19i1.603.
- [8] R. Kaifi, "A Review of Recent Advances in Brain Tumor Diagnosis Based on AI-Based Classification," Sep. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/diagnostics13183007.
- [9] Y. Guan *et al.*, "A framework for efficient brain tumor classification using MRI images," *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 18, no. 5, pp. 5790–5815, 2021, doi: 10.3934/MBE.2021292.

- [10] S. E. Nassar, I. Yasser, H. M. Amer, and M. A. Mohamed, "A robust MRI-based brain tumor classification via a hybrid deep learning technique," *Journal of Supercomputing*, vol. 80, no. 2, pp. 2403–2427, Jan. 2024, doi: 10.1007/s11227-023-05549-w.
- [11] L. Zhang, X. Wen, J. W. Li, X. Jiang, X. F. Yang, and M. Li, "Diagnostic error and bias in the department of radiology: a pictorial essay," Dec. 01, 2023, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1186/s13244-023-01521-7.
- [12] R. Disci, F. Gurcan, and A. Soylu, "Advanced Brain Tumor Classification in MR Images Using Transfer Learning and Pre-Trained Deep CNN Models," *Cancers (Basel)*, vol. 17, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.3390/cancers17010121.
- [13] A. A. S. Ali, "BRAIN TUMOR CLASSIFICATION USING A HYBRID DEEP LEARNING MODEL: LEVERAGING DENSENET121 AND INCEPTIONV2 ARCHITECTURES," *Electronic Journal of University of Aden for Basic and Applied Sciences*, vol. 5, no. 4, pp. 455–463, Dec. 2024, doi: 10.47372/ejua-ba.2024.4.402.
- [14] S. M. Rasa *et al.*, "Brain tumor classification using fine-tuned transfer learning models on magnetic resonance imaging (MRI) images," *Digit Health*, vol. 10, Jan. 2024, doi: 10.1177/20552076241286140.
- [15] Y. Lecun, Y. Bengio, and G. Hinton, "Deep learning," May 27, 2015, *Nature Publishing Group*. doi: 10.1038/nature14539.
- [16] G. Litjens *et al.*, "A survey on deep learning in medical image analysis," Dec. 01, 2017, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.media.2017.07.005.
- [17] A. S. Lundervold and A. Lundervold, "An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI," May 01, 2019, *Elsevier GmbH*. doi: 10.1016/j.zemedi.2018.11.002.
- [18] F. Chollet, "Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions," in *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2017, pp. 1800–1807. doi: 10.1109/CVPR.2017.195.