

**SEGMENTASI SEL TUMOR OTAK MENGGUNAKAN
MODIFIKASI ARSITEKTUR *3D U-NET INCEPTION* PADA
CITRA MAGNETIC RESONANCE IMAGING OTAK**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Matematika**

Oleh:

ADI MUZAKIR

NIM 08011182025005



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**SEGMENTASI SEL TUMOR OTAK MENGGUNAKAN MODIFIKASI
ARSITEKTUR 3D U-NET INCEPTION PADA CITRA MAGNETIC
RESONANCE IMAGING OTAK**


SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Matematika**

Oleh

**ADI MUZAKIR
NIM 08011182025005**

Pembimbing Kedua


Dr. Anita Desiani, S.Si., M.Kom.
NIP. 197712112003122002

**Indralaya, 22 Maret 2024
Pembimbing Utama**


Drs. Ali Amran, M.T.
NIP. 196612131994021001

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika**


Dr. Dian Cahyawati Sukanda, S.Si., M.Si.
NIP. 197303212000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Adi Muzakir

NIM : 08011182025005

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Matematika

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata satu (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain.

Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 22 Maret 2024

Penulis



Adi Muzakir

NIM. 08011182025005

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan skripsi ini untuk:

Yang Maha Kuasa Allah Subhanahu Wa Ta'ala,

Orang tuaku tersayang,

Saudara-saudariku,

Keluarga besarku,

Semua guru dan dosenku,

Sahabat-sahabatku,

Almamaterku

Moto

“Berjuanglah untuk diri sendiri meskipun tidak ada yang mengapresiasi. Kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Segmentasi Sel Tumor Otak Menggunakan Modifikasi Arsitektur *3D U-Net Inception* pada Citra *Magnetic Resonance Imaging* Otak” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains bidang studi Matematika di Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa proses pembuatan skripsi ini merupakan proses pembelajaran yang sangat berharga serta tak lepas dari kekurangan dan keterbatasan. Dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tuaku tercinta, **Aswadi** dan **Rusdiana**, yang tak pernah lelah mendidik, menasehati, membimbing, mendukung dan terus mendoakan anaknya. Terima kasih atas segala perjuangan dan pengorbanan hingga detik ini dan sampai kapanpun.
2. Ibu **Dr. Dian Cahyawati Sukanda, S.Si., M.Si.** selaku Ketua Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan arahan dan motivasi kepada penulis selama proses perkuliahan.
3. Ibu **Des Alwine Zayanti, S.Si., M.Si.** selaku Sekretaris Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah mengarahkan urusan akademik kepada penulis.
4. Bapak **Drs. Ali Amran, M.T.** selaku dosen pembimbing utama yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran untuk memberikan bimbingan

dan pengarahan selama proses pembuatan skripsi ini dengan penuh pengertian.

5. Ibu **Dr. Anita Desiani, S.Si., M.Kom.** selaku dosen pembimbing pendamping sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, pengarahan, dan didikan berharga selama proses pembuatan skripsi, urusan akademik, kompetisi atau program mahasiswa, dan perjalanan perkuliahan ini.
6. Ibu **Des Alwine Zayanati, S.Si., M.Si.** dan Ibu **Dr. Evi Yuliza, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembahas dan penguji yang telah memberikan tanggapan, kritik, dan saran yang sangat bermanfaat untuk perbaikan dan penyelesaian skripsi ini.
7. **Seluruh Dosen di Jurusan Matematika FMIPA** yang telah memberikan ilmu, nasihat, motivasi, serta bimbingan selama proses perkuliahan.
8. Pak **Irwansyah** selaku admin dan Ibu **Hamidah** selaku pegawai tata usaha Jurusan Matematika FMIPA yang telah membantu penulis selama perkuliahan.
9. **Seluruh guru** yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat hingga mengantarkan penulis pada pendidikan ini.
10. Kakak laki-laki dan adik perempuanku, **Argandiki Perdana, Rahmat Dwian,** dan **Sabrina Nakhwa** yang selalu mendoakan, memberi nasihat yang berharga, dan menjadi teman diskusi terbaik selama ini, beserta keluarga besar yang selalu mendukung penulis.

11. **Kakak-kakak tingkat angkatan 2017, 2018, dan 2019 bidang minat komputasi** yang telah banyak membantu serta berbagi ilmu selama proses skripsi.
12. **Semua sahabat seperjuangan** dalam masa perkuliahan dan proses skripsi. Terima kasih sudah menjadi orang-orang baik di sekeliling penulis yang selalu mendukung, membantu dengan tulus, dan memberi energi positif.
13. **Keluarga Matematika 2020, Komputasi 2020, BPH Himastik Akselerasi, Asisten Laboratorium Komputasi, Mawapres Unsri 2023, dan rekan-rekan perlombaan** selama perkuliahan.
14. Kakak-kakak tingkat angkatan 2018 dan 2019 serta adik-adik tingkat angkatan 2021 dan 2022, terima kasih atas segala kebaikan dan bantuan.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah.

Semoga skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi mahasiswa/mahasiswi Jurusan Matematika Fakultas dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dan semua pihak yang memerlukan.

Indralaya, Maret 2024

Penulis

BRAIN TUMOR CELL SEGMENTATION USING MODIFIED 3D U-NET INCEPTION ARCHITECTURE ON BRAIN MAGNETIC RESONANCE IMAGING IMAGES

By:

**Adi Muzakir
08011182025005**

ABSTRACT

Brain tumor cells can be identified by applying image segmentation techniques using Convolutional Neural Network (CNN). The CNN architecture that is often used in 3-dimensional image segmentation is 3D U-Net. In this study, the implementation of 3D U-Net Inception architecture was carried out which is a modification of 3D U-Net and Inception architecture for brain tumor cell segmentation on brain Magnetic Resonance Imaging (MRI) images. The stages of research carried out are data collection, data preprocessing, training, testing, evaluation, analysis and interpretation of results, and conclusion making. The results of the study using the Brain Tumor Segmentation dataset were the values of accuracy, sensitivity, specificity, Intersection over Union (IoU), and f1-score respectively of 99.04%, 83.68%, 93.73%, 70.86%, and 81.94%. Based on the results obtained, it can be said that the 3D U-Net Inception architecture is able to segment brain tumor cells on brain MRI images, but still has a fairly low IoU value.

Keywords: Segmentation, Brain Tumor, MRI, *3D U-Net*, *Inception*

**SEGMENTASI SEL TUMOR OTAK MENGGUNAKAN MODIFIKASI
ARSITEKTUR 3D U-NET INCEPTION PADA CITRA MAGNETIC
RESONANCE IMAGING OTAK**

Oleh:

**Adi Muzakir
08011182025005**

ABSTRAK

Sel tumor otak dapat diidentifikasi dengan menerapkan teknik segmentasi citra menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN). Arsitektur CNN yang sering digunakan dalam segmentasi citra 3 dimensi adalah *3D U-Net*. Pada penelitian ini, dilakukan implementasi arsitektur *3D U-Net Inception* yang merupakan modifikasi arsitektur *3D U-Net* dan *Inception* untuk segmentasi sel tumor otak pada citra *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) otak. Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu pengumpulan data, *preprocessing* data, *training*, *testing*, evaluasi, analisis dan interpretasi hasil, serta pengambilan kesimpulan. Hasil penelitian dengan menggunakan *dataset Brain Tumor Segmentation* yaitu nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, *Intersection over Union* (IoU), dan *f1-score* berturut-turut sebesar 99,04%, 83,68%, 93,73%, 70,86%, dan 81,94%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dikatakan bahwa arsitektur *3D U-Net Inception* mampu melakukan segmentasi sel tumor otak pada citra MRI otak, namun masih memiliki nilai IoU yang cukup rendah.

Kata Kunci: Segmentasi, Tumor Otak, MRI, *3D U-Net*, *Inception*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Citra MRI Otak	6
2.2 Citra 3 Dimensi	6
2.3 <i>Preprocessing</i>	7
2.4 Segmentasi Citra Semantik	8
2.5 <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	8
2.5.1 <i>Convolutional Layer 3D</i>	8
2.5.2 <i>Batch Normalization</i>	8
2.5.3 Fungsi Aktivasi	10
2.5.4 <i>Max Pooling</i>	11
2.5.5 <i>Upsampling</i>	12
2.5.6 <i>Concatenate Layer</i>	13
2.5.7 <i>Loss Function</i>	13
2.5.8 <i>Optimization Function: Adaptive Moment Estimation (Adam)</i>	14
2.6 Arsitektur <i>3D U-Net</i>	15
2.7 Arsitektur <i>Inception</i>	16
2.8 <i>Confusion Matrix</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Tempat.....	20
3.2 Waktu	20
3.3 Alat.....	20
3.4 Metode Penelitian.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Deskripsi Data.....	24
4.2 <i>Preprocessing Data</i>	25
4.3 Arsitektur <i>3D U-Net Inception</i>	25
4.4 Operasi Perhitungan Manual pada CNN.....	28
4.5 <i>Training</i>	42
4.6 <i>Testing</i>	44
4.7 Evaluasi.....	49

4.8 Analisis dan Interpretasi Hasil	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Confusion Matrix</i>	18
Tabel 2.2 Kategori Nilai Evaluasi Kinerja Model	19
Tabel 4.1 Data Sampel Citra BraTS 2020.....	24
Tabel 4.2 Perbandingan Citra Asli, <i>Ground Truth</i> , dan Hasil Segmentasi	45
Tabel 4.3 <i>Confusion Matrix Multiclass</i> dari Proses <i>Testing</i>	46
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Evaluasi Kinerja dengan Penelitian Lain.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Citra 3D MRI Otak.....	6
Gambar 2.2 Koordinat 3 Dimensi	7
Gambar 2.3 Contoh Operasi <i>Max Pooling</i>	12
Gambar 2.4 Contoh Proses <i>Upsampling</i>	12
Gambar 2.5 Arsitektur <i>3D U-Net</i>	16
Gambar 2.6 <i>Inception Module</i>	17
Gambar 4.1 Kombinasi Arsitektur <i>3D U-Net</i> dan <i>Inception</i>	25
Gambar 4.2 Hasil <i>Training</i> Model Arsitektur <i>3D U-Net Inception</i>	42
Gambar 4.3 Grafik Akurasi Proses <i>Training</i>	43
Gambar 4.4 Grafik <i>Loss</i> Proses <i>Training</i>	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tumor otak merupakan kondisi ketika sel-sel tidak normal tumbuh di dalam otak manusia (Zhang *et al.*, 2020). Berdasarkan *International Agency for Research on Cancer*, setiap tahunnya terdapat lebih dari 126.000 kasus tumor otak di tingkat global dan menyebabkan lebih dari 97.000 kematian (Taufiqurrahman *et al.*, 2023). Di Indonesia, tumor otak menempati urutan ke-15 sebagai penyakit dengan kasus terbanyak dengan rata-rata kematian sebesar 15.310 kematian dalam 5 tahun terakhir (*Global Cancer Observatory*, 2020).

Salah satu cara untuk menanggulangi tingginya kasus tumor otak adalah dengan melakukan deteksi dini sel tumor otak pada citra *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) otak (Khan *et al.*, 2020). Citra MRI otak merupakan citra berbentuk 3 dimensi yang memberikan gambaran terperinci mengenai sel pada otak (Mohan & Subashini, 2018).

Sel tumor otak pada citra MRI otak dideteksi dengan menggunakan fitur sel *enhancing tumor*, *non-enhancing tumor*, dan *peritumoral edema* (Wang & Chung, 2022). Fitur *enhancing tumor* adalah wilayah yang menunjukkan perubahan sirkulasi darah pada pertumbuhan tumor, fitur *non-enhancing tumor* mencakup wilayah yang menandakan keberadaan tumor, dan fitur *peritumoral edema* mencakup wilayah yang menunjukkan pembengkakan jaringan di sekitar tumor (Nguyen *et al.*, 2020). Ketiga fitur sel tersebut menjadi indikator untuk

menentukan apakah seseorang mengalami tumor otak atau tidak (Martín-Noguerol *et al.*, 2021).

Salah satu cara untuk mengidentifikasi fitur sel yang menjadi indikator dalam proses deteksi sel tumor otak yaitu segmentasi. Segmentasi merupakan teknik yang diterapkan untuk memisahkan bagian terpenting dari citra (Sarkar *et al.*, 2020). Segmentasi sel tumor otak pada citra MRI otak umumnya dilakukan secara manual oleh ahli medis. Segmentasi manual memakan waktu yang lama dan bersifat subjektif (Zhou *et al.*, 2020). Struktur otak manusia yang kompleks juga membuat proses segmentasi manual membutuhkan ketelitian yang tinggi, namun para ahli medis dapat mengalami kelelahan dan penurunan akurasi akibat faktor-faktor seperti gangguan lingkungan, kelelahan mata, dan psikologis (Zhou *et al.*, 2020; Desiani *et al.*, 2022).

Metode yang saat ini banyak digunakan dalam segmentasi otomatis terutama dalam dunia medis yaitu *Convolutional Neural Network* (CNN) (Toraman *et al.*, 2020). CNN merupakan algoritma yang mampu mendeteksi objek dengan menerima input data berbentuk matriks (Botalb *et al.*, 2018). Arsitektur dari metode CNN salah satunya adalah arsitektur *U-Net*. Arsitektur *U-Net* terdiri atas tiga bagian yaitu *encoder*, *bridge*, dan *decoder*. Arora *et al.* (2021) menerapkan arsitektur *U-Net* untuk segmentasi sel tumor otak pada citra MRI otak dengan akurasi sangat baik sebesar 98%, namun tidak mengukur evaluasi kinerja lainnya. Walsh *et al.* (2022) menerapkan arsitektur *U-Net* pada segmentasi citra MRI otak dengan hanya mengukur nilai *Intersection over Union* (IoU) sebesar 84%.

Namun, penelitian Arora *et al.* (2021) dan Walsh *et al.* (2022) dilakukan dengan mengubah citra MRI otak yang berbentuk 3 dimensi menjadi 2 dimensi.

Pengembangan arsitektur *U-Net* untuk segmentasi citra 3 dimensi dikenal dengan arsitektur *3D U-Net* (Cicek *et al.*, 2016). Arsitektur *3D U-Net* memiliki bagian yang sama dengan *U-Net* konvensional. Namun, operasi konvolusi yang digunakan pada *3D U-Net* adalah *3D convolution* sedangkan pada *U-Net* konvensional yaitu *2D convolution*. Perbedaan antara *3D convolution* dan *2D convolution* terletak pada dimensi yang digunakan untuk mengekstraksi fitur. *2D convolution* melakukan ekstraksi fitur hanya pada panjang dan lebar citra sedangkan *3D convolution* melakukan ekstraksi fitur berdasarkan panjang, lebar, dan kedalaman pada suatu citra 3 dimensi (Dou *et al.*, 2022).

Penggunaan arsitektur *3D U-Net* menghasilkan jumlah parameter yang besar (Kanagavelu *et al.*, 2023). Jumlah parameter yang besar menyebabkan *overfitting* dan membutuhkan waktu *training* yang cukup lama (Lei *et al.*, 2020). *Overfitting* adalah kejadian di mana arsitektur sangat baik dalam mempelajari pola pada data *training* namun gagal ketika memprediksi data yang belum pernah dilatih atau data *testing* (Salehinejad & Valaee, 2019).

Jumlah parameter *3D U-Net* dapat dikurangi dengan melakukan suatu modifikasi. Salah satu arsitektur CNN yang memiliki kemiripan dengan bagian *bridge* pada *3D U-Net* tetapi memiliki parameter yang lebih sedikit yaitu arsitektur *Inception*. *Inception* merupakan arsitektur yang menggunakan *Inception Module* dengan memanfaatkan filter konvolusi berbagai ukuran secara bersamaan (Liao & Carneiro, 2017). Penggunaan filter konvolusi berbagai ukuran secara

bersamaan, dapat mengoptimalkan penggunaan parameter, mencegah *overfitting*, dan membuat model lebih efisien secara komputasi (Lee *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2020).

Zhang *et al.* (2020) melakukan segmentasi sel tumor otak pada citra MRI otak menggunakan arsitektur *Inception* yang dimodifikasi menggunakan *Dense Block*. Penelitian ini memperoleh hasil sangat baik yaitu akurasi sebesar 99%, sensitivitas 98%, spesifisitas 99%, dan *f1-score* sebesar 98%. Latif *et al.* (2021) menerapkan arsitektur *Multi Inception U-Net* untuk segmentasi sel tumor otak pada citra MRI otak dengan nilai sensitivitas sebesar 72%.

Penelitian ini melakukan modifikasi arsitektur *3D U-Net* dengan penggantian bagian *bridge* dengan arsitektur *Inception*. Penggantian arsitektur *Inception* pada bagian *bridge* bertujuan agar mengoptimalkan penggunaan parameter, mencegah *overfitting*, dan membuat model lebih efisien secara komputasi. Hasil kinerja arsitektur yang diusulkan diukur dengan menggunakan ukuran evaluasi kinerja seperti akurasi, sensitivitas, spesifisitas, IoU, dan *f1-score*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menerapkan modifikasi arsitektur *3D U-Net Inception* dalam segmentasi sel tumor otak pada citra MRI otak.
2. Bagaimana hasil evaluasi kinerja arsitektur berdasarkan nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, IoU, dan *f1-score*.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan data citra MRI otak yang bersumber dari situs *Kaggle*.
2. Ukuran evaluasi kinerja yang digunakan yaitu akurasi, sensitivitas, spesifisitas, IoU, dan *f1-score*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan modifikasi arsitektur *3D U-Net Inception* dalam segmentasi sel tumor otak pada citra MRI otak.
2. Mengukur hasil evaluasi kinerja berdasarkan nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, IoU, dan *f1-score*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian mengenai segmentasi sel tumor otak.
2. Hasil segmentasi yang diperoleh dapat digunakan untuk proses klasifikasi penyakit tumor otak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghalari, M., Aghagolzadeh, A., & Ezoji, M. (2021). Brain Tumor Image Segmentation Via Asymmetric/Symmetric U-Net Based on Two-Pathway-Residual Blocks. *Biomedical Signal Processing and Control*, 69, 102841.
- Anwar, S. M., Majid, M., Qayyum, A., Awais, M., Alnowami, M., & Khan, M. K. (2018). Medical Image Analysis Using Convolutional Neural Networks: A Review. *Journal of Medical Systems*, 42, 1–13.
- Apicella, A., Donnarumma, F., Isgrò, F., & Prevete, R. (2021). A survey on modern trainable activation functions. *Neural Networks*, 138, 14–32.
- Arora, A., Jayal, A., Gupta, M., Mittal, P., & Satapathy, S. C. (2021). Brain Tumor Segmentation of MRI Images Using Processed Image Driven U-Net Architecture. *Computers*, 10(11), 139.
- Ataloglou, D., Dimou, A., Zarpalas, D., & Daras, P. (2019). Fast and Precise Hippocampus Segmentation Through Deep Convolutional Neural Network Ensembles and Transfer Learning. *Neuroinformatics*, 17, 563–582.
- Awasthi, N., Pardasani, R., & Gupta, S. (2021). Multi-Threshold Attention U-Net (MTAU) based Model for Multimodal Brain Tumor Segmentation in MRI Scans. *Brainlesion: Glioma, Multiple Sclerosis, Stroke and Traumatic Brain Injuries: 6th International Workshop, BrainLes 2020, Held in Conjunction with MICCAI 2020, Lima, Peru, October 4, 2020, Revised Selected Papers, Part II* 6, 168–178.
- Bajracharya, B., & Hua, D. (2018). A Preprocessing Method for Improved Compression of Digital Images. *Journal of Computer Sciences and Applications*, 6(1), 32–37.
- Barthakur, M., & Sarma, K. K. (2019). Semantic segmentation using K-means clustering and deep learning in satellite image. *2019 2nd International Conference on Innovations in Electronics, Signal Processing and Communication (IESC)*, 192–196.
- Barzegar, R., Aalami, M. T., & Adamowski, J. (2020). Short-term Water Quality Variable Prediction Using A Hybrid CNN–LSTM Deep Learning Model. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(2), 415–433.
- Bhandari, A., Koppen, J., & Agzarian, M. (2020). Convolutional Neural Networks for Brain Tumor Segmentation. *Insights into Imaging*, 11(1), 1–9.
- Bieder, F., Sandkühler, R., & Cattin, P. C. (2021). *Comparison of Methods Generalizing Max- and Average-Pooling*. 1–16.
- Botalb, A., Moinuddin, M., Al-Saggaf, U. M., & Ali, S. S. A. (2018). Contrasting Convolutional Neural Network with Multi-layer Perceptron for Big Data Analysis. *2018 International Conference on Intelligent and Advanced System (ICIAS)*, 1–5.
- Chauhan, S., Vig, L., De Filippo De Grazia, M., Corbetta, M., Ahmad, S., &

- Zorzi, M. (2019). A Comparison of Shallow and Deep Learning Methods for Predicting Cognitive Performance of Stroke Patients From MRI Lesion Images. *Frontiers in Neuroinformatics*, *13*, 1–12.
- Chen, W., Sun, Q., Wang, J., Dong, J.-J., & Xu, C. (2018). A Novel Model Based on AdaBoost and Deep CNN for Vehicle Classification. *Ieee Access*, *6*, 60445–60455.
- Chumuang, N., Sukkanchana, K., Ketcham, M., Yimyam, W., Chalermdit, J., Wittayakhom, N., & Pramkeaw, P. (2020). Mushroom Classification by Physical Characteristics by Technique of k-Nearest Neighbor. *2020 15th International Joint Symposium on Artificial Intelligence and Natural Language Processing (ISAI-NLP)*, 1–6.
- Cicek, O., Abdulkadir, A., Lienkamp, S. S., Brox, T., & Ronneberger, O. (2016). 3D U-Net: Learning Dense Volumetric Segmentation from Sparse Annotation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, 424–432.
- Daimary, D., Bora, M. B., Amitab, K., & Kandar, D. (2020). Brain Tumor Segmentation from MRI Images using Hybrid Convolutional Neural Networks. *Procedia Computer Science*, *167*, 2419–2428.
- Desiani, A., Erwin, M., Suprihatin, B., Yahdin, S., Putri, A. I., & Husein, F. R. (2021). Bi-path Architecture of CNN Segmentation and Classification Method for Cervical Cancer Disorders Based on Pap-smear Images. *IAENG International Journal of Computer Science*, *48*(3), 1–9.
- Desiani, A., Erwin, Suprihatin, B., Efriliyanti, F., Arhami, M., & Setyaningsih, E. (2022). VG-DropDNet a Robust Architecture for Blood Vessels Segmentation on Retinal Image. *IEEE Access*, *10*, 92067–92083.
- Dou, H. X., Pan, X. M., Wang, C., Shen, H. Z., & Deng, L. J. (2022). Spatial and Spectral-Channel Attention Network for Denoising on Hyperspectral Remote Sensing Image. *Remote Sensing*, *14*(14), 1–19.
- Fei, Z., Wu, Z., Xiao, Y., Ma, J., & He, W. (2020). A new short-arc fitting method with high precision using Adam optimization algorithm. *Optik*, *212*, 164788.
- Futrega, M., Milesi, A., Marcinkiewicz, M., & Ribalta, P. (2021). Optimized U-Net for Brain Tumor Segmentation. *International MICCAI Brainlesion Workshop*, 15–29.
- Ghadimi, M., & Sapra, A. (2022). Magnetic resonance imaging contraindications. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing.
- Ghafari, S., Ghobadi Tarnik, M., & Sadoghi Yazdi, H. (2021). Robustness of convolutional neural network models in hyperspectral noisy datasets with Loss Functions. *Computers & Electrical Engineering*, *90*, 107009.
- Global Cancer Observatory. (2020). *Indonesia Brain, central nervous system*. <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/360-indonesia-factsheets.pdf>

- Hao, S., Zhou, Y., & Guo, Y. (2020). A Brief Survey on Semantic Segmentation with Deep Learning. *Neurocomputing*, 406, 302–321.
- Hua, X., Du, Z., Yu, H., Ma, J., Zheng, F., Zhang, C., Lu, Q., & Zhao, H. (2022). WSC-Trans: A 3D network model for automatic multi-structural segmentation of temporal bone CT. *ArXiv Preprint ArXiv:2211.07143*.
- Huang, L., Yang, D., Lang, B., & Deng, J. (2018). Decorrelated Batch Normalization. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 791–800.
- Kalayeh, M. M., & Shah, M. (2019). Training Faster by Separating Modes of Variation in Batch-Normalized Models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(6), 1483–1500.
- Kanagavelu, R., Dua, K., Garai, P., Thomas, N., Elias, S., Elias, S., Wei, Q., Yong, L., & Rick, G. S. M. (2023). FedUKD: Federated UNet Model with Knowledge Distillation for Land Use Classification from Satellite and Street Views. *Electronics*, 12(4), 896.
- Karayegen, G., & Aksahin, M. F. (2021). Brain Tumor Prediction on MR Images with Semantic Segmentation by Using Deep Learning Network and 3D Imaging of Tumor Region. *Biomedical Signal Processing and Control*, 66, 102458.
- Khan, A., Sohail, A., Zahoor, U., & Qureshi, A. S. (2020). A Survey of The Recent Architectures of Deep Convolutional Neural Networks. *Artificial Intelligence Review*, 53, 5455–5516.
- Khan, H. A., Jue, W., Mushtaq, M., & Mushtaq, M. U. (2020). Brain tumor classification in MRI image using convolutional neural network. *Math. Biosci. Eng.*, 17(5), 6203–6216.
- Kouretas, I., & Paliouras, V. (2019). Simplified Hardware Implementation of The Softmax Activation Function. *2019 8th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, 1–4.
- Kurniadi, B. W., Prasetyo, H., Ahmad, G. L., Aditya Wibisono, B., & Sandya Prasvita, D. (2021). Analisis Perbandingan Algoritma SVM dan CNN untuk Klasifikasi Buah. *Seminar Nasional Mahasiswa Ilmu Komputer Dan Aplikasinya (SENAMIKA) Jakarta-Indonesia, September*, 1–11.
- Latif, U., Shahid, A. R., Raza, B., Ziauddin, S., & Khan, M. A. (2021). An End-to-End Brain Tumor Segmentation System Using Multi-Inception-UNET. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 31(4), 1803–1816.
- Lee, J., Nam, D.-W., Yoo, W., Kim, Y., Jeong, M., & Kim, C. (2018). Soccer Object Motion Recognition based on 3D Convolutional Neural Networks. *Conference on Computer Science and Information Systems*, 17, 129–134.
- Lei, T., Zhou, W., Zhang, Y., Wang, R., Meng, H., & Nandi, A. K. (2020). Lightweight V-Net For Liver Segmentation. *IEEE International Conference*

- on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 1379–1383.
- Liao, Z., & Carneiro, G. (2017). A Deep Convolutional Neural Network Module That Promotes Competition of Multiple-size Filters. *Pattern Recognition*, *71*, 94–105.
- Markoulidakis, I., Kopsiaftis, G., Rallis, I., & Georgoulas, I. (2021). Multi-class confusion matrix reduction method and its application on net promoter score classification problem. *Proceedings of the 14th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*, 412–419.
- Marmanis, D., Schindler, K., Wegner, J. D., Galliani, S., Datcu, M., & Stilla, U. (2018). Classification with An Edge: Improving Semantic Image Segmentation with Boundary Detection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *135*, 158–172.
- Martín-Noguerol, T., Mohan, S., Santos-Armentia, E., Cabrera-Zubizarreta, A., & Luna, A. (2021). Advanced MRI Assessment of Non-Enhancing Peritumoral Signal Abnormality in Brain Lesions. *European Journal of Radiology*, *143*(August), 109900.
- Mishra, S., Vanli, O. A., Huffer, F. W., & Jung, S. (2016). Regularized Discriminant Analysis for Multi-sensor Decision Fusion and Damage Detection with Lamb Waves. *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2016*, *9803*, 728–741.
- Mohan, G., & Subashini, M. M. (2018). MRI Based Medical Image Analysis: Survey on Brain Tumor Grade Classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, *39*, 139–161.
- Mouton, C., Myburgh, J. C., & Davel, M. H. (2020). Stride and Translation Invariance in CNNs. *Southern African Conference for Artificial Intelligence Research*, 267–281.
- Naser, M. A., & Deen, M. J. (2020). Brain Tumor Segmentation and Grading of Lower-grade Glioma Using Deep Learning in MRI images. *Computers in Biology and Medicine*, *121*, 103758.
- Nguyen, H. T., Le, T. T., Nguyen, T. V., & Nguyen, N. T. (2020). Enhancing MRI Brain Tumor Segmentation With An Additional Classification Network. *International MICCAI Brainlesion Workshop*, 503–513.
- Okewu, E., Misra, S., & Lius, F.-S. (2020). Parameter Tuning Using Adaptive Moment Estimation in Deep Learning Neural Networks. *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2020: 20th International Conference, Cagliari, Italy, July 1–4, 2020, Proceedings, Part VI 20*, 261–272.
- Pitaloka, D. A., Wulandari, A., Basaruddin, T., & Liliana, D. Y. (2017). Enhancing CNN with Preprocessing Stage in Automatic Emotion Recognition. *Procedia Computer Science*, *116*, 523–529.
- Putra, A. T., Usman, K., & Saidah, S. (2021). Webinar student presence system based on regional Convolutional Neural Network using face recognition.

Jurnal Teknik Informatika (Jutif), 2(2), 109–118.

- Qamar, S., Jin, H., Zheng, R., Ahmad, P., & Usama, M. (2020). A variant form of 3D-UNet for infant brain segmentation. *Future Generation Computer Systems*, 108, 613–623.
- Rahmad, F., Suryanto, Y., & Ramli, K. (2020). Performance Comparison of Anti-spam Technology Using Confusion Matrix Classification. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 879(1), 12076.
- Sajjad, M., Khan, Z. A., Ullah, A., Hussain, T., Ullah, W., Lee, M. Y., & Baik, S. W. (2020). A Novel CNN-GRU-Based Hybrid Approach for Short-Term Residential Load Forecasting. *IEEE Access*, 8, 143759–143768.
- Salehinejad, H., & Valaee, S. (2019). Ising-dropout: A Regularization Method for Training and Compression of Deep Neural Networks. *ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 3602–3606.
- Sarkar, S., Kumar, A., Chakraborty, S., Aich, S., Sim, J.-S., & Kim, H.-C. (2020). A CNN based approach for the detection of brain tumor using MRI scans. *Test Engineering and Management*, 83, 16580–16586.
- Satapathy, S. K., Loganathan, D., Sangameswar, M. V., & Vodnala, D. (2021). Automated Classification of Sleep Stages Based on Electroencephalogram Signal Using Machine Learning Techniques. *Intelligent Systems: Proceedings of SCIS 2021*, 407–416.
- Sathananthavathi, V., & Indumathi, G. (2021). Encoder Enhanced Atrous (EEA) Unet Architecture for Retinal Blood Vessel Segmentation. *Cognitive Systems Research*, 67, 84–95.
- Sengupta, A., Agarwal, S., Gupta, P. K., Ahlawat, S., Patir, R., Gupta, R. K., & Singh, A. (2018). On Differentiation Between Vasogenic Edema and Non-Enhancing Tumor in High-grade Glioma Patients Using A Support Vector Machine Classifier Based Upon Pre and Post-surgery MRI Images. *European Journal of Radiology*, 106, 199–208.
- Shi, J., Dang, J., Cui, M., Zuo, R., Shimizu, K., Tsunoda, A., & Suzuki, Y. (2021). Improvement of damage segmentation based on pixel-level data balance using VGG-Unet. *Applied Sciences*, 11(2), 518.
- Soomro, T. A., Afifi, A. J., Zheng, L., Soomro, S., Gao, J., Hellwich, O., & Paul, M. (2019). Deep Learning Models for Retinal Blood Vessels Segmentation: A Review. *IEEE Access*, 7, 71696–71717.
- Sun, J., Peng, Y., Guo, Y., & Li, D. (2021). Segmentation of The Multimodal Brain Tumor Image Used The Multi-Pathway Architecture Method Based on 3D FCN. *Neurocomputing*, 423, 34–45.
- Taufiqurrahman, T., Rianto, S., & Setiawan, A. N. (2023). Comparative Analysis of Intensity Modulation Radiation Therapy and Volumetric Modulation Arc Therapy in Brain Tumor Cases to Minimize Radiation Dose to Organs at

- Risk. *International Journal of Social Health*, 2(10), 718–724.
- Teja Reddy, S. P., Teja Karri, S., Dubey, S. R., & Mukherjee, S. (2019). Spontaneous facial micro-expression recognition using 3D spatiotemporal Convolutional Neural Networks. *2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 1–8.
- Toraman, S., Alakus, T. B., & Turkoglu, I. (2020). Convolutional Capsnet: A Novel Artificial Neural Network Approach to Detect COVID-19 Disease from X-ray Images Using Capsule Networks. *Chaos, Solitons and Fractals*, 140, 110122.
- Walsh, J., Othmani, A., Jain, M., & Dev, S. (2022). Using U-Net Network for Efficient Brain Tumor Segmentation in MRI Images. *Healthcare Analytics*, 2(June), 100098.
- Wang, J., He, X., Faming, S., Lu, G., Cong, H., & Jiang, Q. (2021). A Real-Time Bridge Crack Detection Method Based on an Improved Inception-Resnet-V2 Structure. *IEEE Access*, 9, 93209–93223.
- Wang, P., & Chung, A. C. S. (2022). Relax and Focus on Brain Tumor Segmentation. *Medical Image Analysis*, 75, 102259.
- Wu, Y., Xia, Y., Song, Y., Zhang, Y., & Cai, W. (2020). NFN+: A Novel Network Followed Network for Retinal Vessel Segmentation. *Neural Networks*, 126, 153–162.
- Xu, X.-F., Zhang, L., Duan, C.-D., & Lu, Y. (2019). Research on Inception Module Incorporated Siamese Convolutional Neural Networks to Realize Face Recognition. *IEEE Access*, 8, 12168–12178.
- Yang, H., Wu, P., Yao, X., Wu, Y., Wang, B., & Xu, Y. (2018). Building Extraction in Very High Resolution Imagery by Dense-Attention Networks. *Remote Sensing*, 10(11), 1768.
- Yi, D., Ahn, J., & Ji, S. (2020). An effective optimization method for machine learning based on ADAM. *Applied Sciences*, 10(3), 1073.
- Yusro, M., Suryana, E., Ramli, K., Sudiana, D., & Hou, K. M. (2019). Testing The Performance of A Single Pole Detection Algorithm Using The Confusion Matrix Model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(7), 77066.
- Zafar, A., Aamir, M., Mohd Nawi, N., Arshad, A., Riaz, S., Alruban, A., Dutta, A. K., & Almotairi, S. (2022). A Comparison of Pooling Methods for Convolutional Neural Networks. *Applied Sciences*, 12(17), 8643.
- Zhang, J., Jiang, Z., Dong, J., Hou, Y., & Liu, B. (2020). Attention Gate ResU-Net for Automatic MRI Brain Tumor Segmentation. *IEEE Access*, 8, 58533–58545.
- Zhang, Y., Liu, S., Li, C., & Wang, J. (2021). Rethinking the dice loss for deep learning lesion segmentation in medical images. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 26(1), 93–102.

- Zhang, Zhixia, Cao, Y., Cui, Z., Zhang, W., & Chen, J. (2021). A Many-Objective Optimization Based Intelligent Intrusion Detection Algorithm for Enhancing Security of Vehicular Networks in 6G. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70(6), 5234–5243.
- Zhang, Ziang, Wu, C., Coleman, S., & Kerr, D. (2020). DENSE-INception U-Net for Medical Image Segmentation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 192, 105395.
- Zhou, T., Ruan, S., Guo, Y., Rouen, I., Apprentissage, L., & Rouen, I. (2020). A Multi-Modality Fusion Network Based on Attention Mechanism for Brain Tumor Segmentation. *17th International Symposium on Biomedical Imaging*, 377–380.