

**SEGMENTASI SEL TUMOR OTAK DENGAN KOMBINASI
ARSITEKTUR 3D U-NET DAN *ATTENTION GATE* PADA CITRA
HASIL *MAGNETIC RESONANCE IMAGING* (MRI) OTAK**

SKRIPSI

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

Oleh:

ANDIKA CRISTIAN LUBIS

NIM 08011282025025



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

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**SEGMENTASI SEL TUMOR OTAK DENGAN KOMBINASI
ARSITEKTUR 3D U-NET DAN *ATTENTION GATE* PADA CITRA
HASIL *MAGNETIC RESONANCE IMAGING* (MRI) OTAK**

SKRIPSI

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

Oleh

**ANDIKA CRISTIAN LUBIS
NIM. 08011282025025**

Indralaya, 21 November 2024

Pembimbing Kedua

Pembimbing Utama



Irmeilyana, S.Si., M.Si.

NIP. 197405171999032003



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

NIP. 197712112003122002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Matematika



Dr. Dian Cahyawati, S.Si., M.Si.

NIP. 197303212000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Andika Cristian Lubis

NIM : 08011282025025

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 kesajanaan 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 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, 23 November 2024

Penulis,



Andika Cristian Lubis
NIM. 08011282025025

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Seagai Civitas Akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Andika Cristian Lubis

NIM : 08011282025025

Fakultas / Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam / Matematika

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya "Segmentasi Sel Tumor otak dengan Kombinasi Arsitektur 3D U-Net dan *Attention Gate* pada Citra Hasil *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) Otak". Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformat, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 23 November 2024

Penulis,



Andika Cristian Lubis
NIM. 08011282025025

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan skripsi ini untuk:

Yang Maha Kuasa Tuhan Yesus Kristus

Kedua orang tuaku tersayang,

Kakak dan kedua adikku,

Keluarga besarku,

Semua guru dan dosenku,

Sahabat-sahabatku,

Almamaterku

Moto

” And the peace of God, which transcends all understanding, will guard your hearts and your minds in Christ Jesus (Philippians 4 : 7) ”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Segmentasi Sel Tumor Otak dengan Kombinasi Arsitektur 3D U-Net dan *Attention Gate* pada Citra Hasil *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) 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, **Berlin Lubis** dan **Asrita Sitohang** yang tak pernah lelah mendidik, menasehati, membimbing, mendukung, dan selalu mendoakan penulis. Terima kasih atas segala sesuatu yang telah penulis terima, atas segala perjuangan dan pengorbanan yang tak ternilai harganya.
2. Bapak **Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D** selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya dan **seluruh jajaran dekanat** yang sangat membantu penulis dalam hal pemberkasan dan urusan kemahasiswaan.
3. Ibu **Dr. Dian Cahyawati S.Si., M.Si** selaku Ketua Jurusan Matematika dan Ibu **Des Alwine Zayanti, M.Si** selaku Sekretaris Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis selama proses perkuliahan.

4. Ibu **Dr. Anita Desiani, S.Si., M.Kom** selaku dosen pembimbing utama yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran untuk memberikan bimbingan selama proses pembuatan skripsi, program kemahasiswaan, dan lomba-lomba selama ini.
5. Ibu **Irmeilyana, S.Si., M.Si** selaku dosen pembimbing akademik dan juga dosen pembimbing kedua yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan motivasi kepada penulis selama proses pembuatan skripsi dan proses perkuliahan.
6. Bapak **Dr. Yuli Andriani, S.Si., M.Si** dan Ibu **Dra. Ning Eliyati, M.Pd** selaku dosen pembahas yang telah memberikan saran, tanggapan, dan kritik yang sangat bermanfaat untuk penyelesaian dan perbaikan skripsi ini.
7. **Seluruh dosen di Jurusan Matematika** yang telah memberikan ilmu, motivasi, dan bimbingan selama masa perkuliahan.
8. Bapak **Irwansyah** dan Ibu **Hamidah** selaku admin dan pegawai tata usaha jurusan Matematika yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan.
9. Kakak perempuanku, **Anesya Fransiskan Lubis**, adik Perempuanku, **Juli Arta Lubis**, dan adik laki-lakiku, **Robert Doliver Lubis**, yang selalu mendoakan, memberikan semangat, dan mendukung penuh penulis.
10. **Kakak-kakak tingkat angkatan 2018 dan 2019 bidang minat komputasi** yang telah membantu dan membagikan ilmunya kepada penulis selama proses pembuatan skripsi.

11. **Teman-teman bidang minat komputasi angkatan 2020 dan tim perlombaan** yang telah berjuang bersama dan memberikan banyak bantuan serta semangat kepada penulis dalam menyelesaikan proses perkuliahan dan pembuatan skripsi ini.
12. **Teman-teman Matematika angkatan 2020 dan Rekan-rekan Asisten Laboratorium Komputasi FMIPA** yang telah menemani masa perkuliahan penulis.
13. **BPH dan seluruh Keluarga BEM KM FMIPA Kabinet Aksi, Rubik Laskarika, dan Askara** yang selalu menjadi teman bertukar ilmu dan pengalaman serta memberikan semangat kepada penulis dalam proses perkuliahan.
14. **Adik Tingkat Angkatan 2021-2024** yang menjadi tempat bercerita penulis juga sebagai pengingat akan hal-hal yang berkesan baik bagi penulis.
15. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam proses perkuliahan dan pembuatan skripsi ini.

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

Indralaya, 21 November 2024

Penulis

**BRAIN TUMOR CELL SEGMENTATION BY USING A COMBINATION
OF 3D U-NET ARCHITECTURE AND ATTENTION GATE ON BRAIN
IMAGE RESULT OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI).**

By:

ANDIKA CRISTIAN LUBIS

08011282025025

ABSTRACT

Based on the Global Cancer Observatory in 2020, brain tumors occupy the 19th position among all malignant diseases that most often cause death. To help analyze brain tumor cells, it is necessary to detect the brain using Magnetic Resonance Imaging (MRI). In detecting MRI images, segmentation is applied by applying the Convolutional Neural Network (CNN) method. CNN architecture that is often used for 3-dimensional image segmentation is the 3D U-Net architecture. The purpose of this research is to overcome the shortcomings of the 3D U-Net architecture by combining the 3D U-Net architecture and the attention gate mechanism. Attention gate is placed in the decoder section after the skip connections process so that the features under the skip connections can focus only on important features. With only important features being filtered out, the model can more accurately learn feature patterns. The performance level of the model was measured using accuracy, sensitivity, specificity, Intersection over Union (IoU), and F1-Score, which achieved values of 99.77%, 97.87%, 98.73%, 89.82%, and 94.83%, respectively. The evaluation measures are categorized as very good in segmenting except IoU which is categorized as good. Based on the results of the model performance evaluation measures obtained, the combination of 3D U-Net architecture and attention gate provides excellent results in segmenting brain tumor cells from MRI results.

Keywords : Segmentation, Brain Tumor, MRI Images, 3D U-Net Architecture, Attention Gate

**SEGMENTASI SEL TUMOR OTAK DENGAN KOMBINASI
ARSITEKTUR 3D U-NET DAN *ATTENTION GATE* PADA CITRA HASIL
MAGNETIC RESONANCE IMAGING (MRI) OTAK**

Oleh:

ANDIKA CRISTIAN LUBIS

08011282025025

ABSTRAK

Berdasarkan *Global Cancer Observatory* tahun 2020, tumor otak menduduki posisi ke-19 di antara seluruh penyakit ganas yang paling sering menyebabkan kematian. Untuk membantu menganalisis sel tumor otak, perlu dilakukan deteksi pada otak menggunakan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI). Dalam pendeteksian citra hasil MRI diterapkan segmentasi dengan menerapkan metode *Convolutional Neural Network* (CNN). Arsitektur CNN yang sering dipakai untuk segmentasi citra 3 dimensi yaitu arsitektur 3D U-Net. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengatasi kekurangan arsitektur 3D U-Net dengan melakukan kombinasi antara arsitektur 3D U-Net dan mekanisme *attention gate*. *Attention gate* diletakkan pada bagian *decoder* setelah proses *skip connections* sehingga fitur yang dibawah oleh *skip connections* dapat fokus hanya pada fitur penting. Dengan hanya adanya fitur-fitur penting yang disaring, model dapat lebih akurat dalam mempelajari pola fitur. Tingkat kinerja model diukur menggunakan akurasi, sensitivitas, spesifisitas, *Intersection over Union* (IoU), dan *F1-Score*, dimana hasil tersebut mencapai nilai secara berturut-turut sebesar 99,77%, 97,87%, 98,73%, 89,82%, dan 94,83%. Ukuran evaluasi terkategori sangat baik dalam melakukan segmentasi kecuali IoU yang terkategori baik. Berdasarkan hasil ukuran evaluasi kinerja model yang diperoleh, kombinasi arsitektur 3D U-Net dan *attention gate* memberikan hasil yang sangat baik dalam melakukan segmentasi pada sel tumor otak hasil MRI.

Kata Kunci : Segmentasi, Sel Tumor Otak, Citra MRI, Arsitektur 3D U-Net, *Attention Gate*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN 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	5
1.3 Pembatasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Manfaat.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Citra <i>Magnetic Resonance Imaging</i> (MRI) Otak.....	7
2.2 Citra Digital 3 Dimensi	7
2.3 <i>Preprocessing</i> Data	8
2.3.1 <i>Minimum-maximum Scalar</i>	9
2.3.2 <i>Augmentasi</i> Data	9
2.4 Segmentasi Citra Semantik	9
2.5 <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN)	10
2.5.1 <i>Convolutional Layer</i> 3D.....	10
2.5.2 <i>Dropout</i>	12
2.5.3 <i>Max Pooling</i> 3D	13
2.5.4 <i>Attention Gate</i>	13
2.5.5 <i>Upsampling Layer</i>	15
2.5.6 <i>Concatenate Layer</i>	16
2.5.7 Fungsi Aktivasi.....	17
2.5.8 <i>Loss Function : Dice Loss</i>	18

2.5.9	<i>Optimization Function: Adaptive Moment Estimation (Adam)</i>	19
2.6	Arsitektur 3D U-Net	20
2.7	<i>Confusion Matrix</i>	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		24
3.1	Tempat	24
3.2	Waktu.....	24
3.3	Alat.....	24
3.4	Metode Penelitian.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Deskripsi Data	29
4.2	<i>Preprocessing Data</i>	30
4.3	Penerapan Kombinasi Arsitektur 3D U-Net dengan <i>Attention Gate</i>	30
4.4	Operasi Perhitungan Manual pada CNN	33
4.5	Tahapan <i>Training</i>	48
4.6	Tahapan <i>Testing</i>	50
4.7	Evaluasi	55
4.8	Analisis dan Interpretasi Hasil.....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Confusion Matrix</i> 2 x 2	22
Tabel 2.2 Kategori Nilai Evaluasi Kinerja Model	23
Tabel 4.1 Contoh Citra digital otak hasil MRI dan <i>Ground Truth segmentation</i> .	29
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Segmentasi dan citra <i>Ground Truth</i>	51
Tabel 4.3 Hasil Testing <i>Multiclass</i>	52
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Evaluasi Kinerja Model dengan Penelitian Lain ..	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Citra 3D MRI Otak.....	7
Gambar 2.2 Ilustrasi Citra Digital 3 Dimensi	8
Gambar 2.3 Ilustrasi Proses Konvolusi pada <i>Covolutional Layer</i> 3D	12
Gambar 2.4 Contoh Proses Operasi <i>Max Pooling</i> 3D.....	13
Gambar 2.5 Skema sederhana <i>Attention Gate</i>	14
Gambar 2.6 Contoh Operasi <i>Upsampling Layer</i> 3D.....	16
Gambar 2.7 Ilustrasi Proses <i>Concatenate Layer</i>	17
Gambar 2.8 Arsitektur 3D U-Net.....	21
Gambar 4.1 Ilustrasi Arsitektur Kombinasi 3D U-Net dan <i>Attention Gate</i>	31
Gambar 4.2 Grafik Akurasi <i>Training</i> dan <i>Validation</i> pada Proses <i>Training</i>	49
Gambar 4.3 Grafik <i>Loss Training</i> dan <i>Validation</i> pada Proses <i>Training</i>	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan *Global Cancer Observatory* tahun 2020, tumor otak menduduki posisi ke-19 di antara seluruh penyakit ganas yang paling sering menyebabkan kematian (1,9% dari seluruh jenis tumor penyebab kanker). Dengan risiko kematian yang tinggi, perlu adanya penanganan dini terhadap tumor otak yaitu dengan melakukan pendeteksian pada sel tumor di dalam struktur jaringan otak. Terdapat alat medis yang sering dipakai untuk mendeteksi penyakit tumor pada otak yaitu *Magnetic Resonance Image* (MRI) (Jiang *et al.* 2023). Citra hasil MRI merupakan citra bentuk 3 dimensi yaitu, *sagital*, *axial*, dan *coronal* (Haridas *et al.* 2022). Interpretasi dari citra MRI sering kali memerlukan analisis lebih lanjut, hal ini dapat diatasi dengan melakukan segmentasi pada citra hasil MRI (Yousef *et al.* 2023).

Segmentasi citra merupakan suatu proses pemisahan pola penting dari citra, sehingga pola yang tidak penting akan diabaikan. (Maiyanti *et al.* 2023). Segmentasi pada citra hasil MRI masih sering dilakukan secara manual sehingga memerlukan pengalaman lebih dari tenaga medis dalam hal memilah area tumor, dan memerlukan ketelitian penilaian citra yang tinggi sehingga memerlukan waktu yang sangat lama terutama jika dilakukan pada jumlah data yang sangat besar (Lenchik *et al.* 2022). Pengembangan algoritma segmentasi otomatis diperlukan dalam mengatasi kelemahan pada segmentasi manual dengan memanfaatkan metode CNN (Chandra 2023). *Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan

algoritma *deep learning* yang sering digunakan untuk kasus pemisahan fitur penting pada citra dan sangat efisien dalam melakukan ekstraksi fitur-fitur kompleks dengan otomatis untuk segmentasi citra dengan jumlah data yang besar (Vijay *et al.* 2023). Terdapat arsitektur CNN yang sering dipakai untuk segmentasi citra 3 dimensi yaitu arsitektur 3D U-Net (Haseeb *et al.* 2023).

Arsitektur 3D U-Net merupakan arsitektur CNN yang dirancang untuk segmentasi citra 3 dimensi. Arsitektu 3D U-Net bekerja dengan meingterpretasi pola penting dan mempertahankan informasi spasial dari citra (Irwansyah *et al.* 2023). Arsitektur 3D U-Net berisi jalur *encoder*, *bridge*, dan *decoder*. Arsitektur 3D U-Net menerapkan *convolution* 3D dan *max pooling* pada bagian *encoder* kemudian menerapkan *upsampling*, *concatenate*, dan *convolution* pada bagian *decoder* (Irwansyah *et al.* 2023). *convolution* 3D bertugas melakukan ekstraksi fitur spasial pada citra, *max pooling* 3D mereduksi dimensi spasial serta menyaring fitur paling dominan dari citra input. *Upsampling* bertugas mengembalikan resolusi ke bentuk asli serta memperbaiki detail spasial dari fitur yang disaring pada tahap *encoder*, dan terakhir, *concatenate* bertugas untuk menggabungkan fitur dari *layer encoder* dan *decoder*.

Dong *et al.* (2017) menggunakan arsitektur 3D U-Net dalam segmentasi tumor otak hasil MRI dengan akurasi sebesar 77%, namun penelitian ini tidak mengukur evaluasi kinerja lain seperti *F1-score*, IoU, dan ukuran evaluasi lainnya. Rehman *et al.* (2020) menerapkan arsitektur 3D U-Net dalam segmentasi sel tumor otak dengan hanya menghitung akurasi dengan *dice coeffiesion* pada 3 label yaitu, *whole* sebesar 88,5%, *tumor core* sebesar 71,8%, dan *enhancing tumor* sebesar 76%.

Meskipun sudah menunjukkan hasil kinerja yang baik, arsitektur 3D U-Net memiliki algoritma *skip connections* yang sangat sederhana sehingga cenderung menggabungkan semua informasi dari layer *encoder* ke *decoder* tanpa mempertimbangkan relevansi fitur. Kelemahan Arsitektur 3D U-Net tersebut dapat menyebabkan pencampuran informasi yang tidak relevan, mengurangi kemampuan model di bagian *decoder* untuk fokus pada fitur penting dan membuat hasil segmentasi yang kurang akurat (Rehman *et al.* 2020). Dalam hal ini, perlu adanya mekanisme yang diletakkan di bagian *decoder* untuk melakukan seleksi pada fitur yang dikirimkan oleh *skip connections* sehingga model dapat fokus hanya pada fitur-fitur penting (Huang *et al.* 2021).

Attention gate merupakan mekanisme arsitektur CNN yang digunakan untuk memperbaiki representasi fitur dengan memberikan perhatian lebih kepada fitur-fitur relevan (Oktay *et al.* 2018). *Attention gate* pada bagian *decoder* bekerja dengan memilih fitur-fitur relevan dari fitur yang dikirimkan oleh *skip connections*. Pemilihan fitur pada *attention gate* dilakukan dengan menghitung koefisien *attention* berupa nilai bobot pada fitur-fitur yang relevan untuk proses segmentasi (Deng *et al.* 2021). Koefisien *attention* dihitung menggunakan fungsi aktivasi sigmoid dan berada dalam interval nol hingga satu, dimana jika nilai bobot pada fitur semakin tinggi, maka semakin penting fiturnya.

Noori *et al.* (2019) mengkombinasikan arsitektur 3D U-Net dengan *attention gate* dalam segmentasi sel tumor otak hasil MRI. *Attention gate* diletakkan di bagian *decoder* sebelum tahap *upsampling* dan *concatenate*. Penelitian menunjukkan hasil yang baik dengan akurasi sebesar 81,3% , 89,5%, dan 82,3%

pada label *Enhancing tumor*, *Whole tumor*, dan *Tumor Core*, akurasi dihitung terhadap masing-masing label dan hanya menghitung ukuran evaluasi kinerja dengan akurasi saja. Penelitian lainnya dilakukan oleh Zhang *et al.* (2020) menggunakan 3D U-Net dan *attention gate* pada bagian *decoder* dalam segmentasi sel tumor otak. Hasil penelitian memberikan akurasi yang baik yaitu 89,2 % pada *whole tumor*, 85,3 pada *tumor core*, dan 82,5% pada *enhancing tumor*. Penelitian ini mengukur nilai akurasi terhadap 3 label dan tidak menghitung ukuran evaluasi kinerja lain.

Kombinasi Arsitektur 3D U-Net dan *attention gate* memiliki kemampuan yang kuat dalam melakukan segmentasi, namun kombinasi ini melibatkan lapisan konvolusi yang berulang, sehingga menghasilkan jumlah parameter yang besar. Jumlah parameter yang besar dapat menyebabkan terjadinya *overfitting* (Khan *et al.* 2023). *Overfitting* adalah kondisi di mana model belajar terlalu banyak detail dari data training dan gagal generalisasi pada data baru. (Srivastava *et al.* 2014). Pengurangan jumlah parameter pada arsitektur dapat dilakukan dengan menambahkan *dropout* pada blok *decoder*. *Dropout* bekerja secara acak menghilangkan sejumlah elemen dalam jaringan pada setiap iterasi pelatihan model dengan probabilitas tertentu selama pelatihan (Qian *et al.* 2020).

Penelitian ini melakukan pengembangan arsitektur dengan mengkombinasikan arsitektur 3D U-Net dengan mekanisme *attention gate* dan penambahan teknik *dropout* dalam segmentasi citra sel tumor otak hasil (MRI). Penelitian ini berfokus pada pengambilan fitur segmentasi dalam empat label yaitu *background*, *peritumeral edema*, *non-enhancing tumor*, dan *enhancing tumor*. *Attention gate* di

letakkan pada bagian *decoder* dengan tujuan agar fitur yang dibawa oleh skip connection dari encoder terdefinisi dengan baik pada bagian decoder dengan hanya memproses fitur-fitur yang penting saja. Penambahan *dropout* dilakukan untuk mengurangi jumlah parameter yang besar agar mengurangi kemungkinan terjadinya *overfitting* pada proses pelatihan. Hasil Kinerja model usulan pada penelitian ini diukur berdasarkan nilai akurasi, sensitivitas, spesifisitas, *Intersection over Union (IoU) score*, dan *F1-score*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimana menerapkan kombinasi arsitektur 3D U-Net dan mekanisme *Attention gate* yang diletakkan pada bagian *decoder* setelah proses *skip connections*, kemudian melibatkan teknik *dropout* pada setiap blok convolusi *decoder* dalam segmentasi sel tumor otak hasil *Magnetic Resonance Imaging (MRI)* agar memperoleh arsitektur pengembangan yang mampu melakukan segmentasi citra dengan sangat baik berdasarkan ukuran evaluasi kinerja model segmentasi.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini antara lain yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas segmentasi tumor otak hasil MRI dengan mengkombinasikan arsitektur 3D U-Net, *Attention gate*, dan *Dropout*.

2. Hasil pengukuran evaluasi kinerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah akurasi, sensitivitas, spesifisitas, *Intersection over Union* (IoU) *score*, dan *F1-score*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengatasi kekurangan arsitektur 3D U-Net dengan menerapkan pengembangan arsitektur 3D U-Net yang dikombinasikan dengan *Attention gate* dan melibatkan teknik *dropout* didalamnya untuk mendapatkan hasil segmentasi yang baik berdasarkan ukuran evaluasi kinerja model segmentasi.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian lain yang berhubungan dengan segmentasi tumor otak.
2. Adanya arsitektur baru dari perbaikan arsitektur biasa yang dapat dipakai untuk segmentasi sel tumor otak dengan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboussaleh, Ilyasse, Jamal Riffi, Khalid El Fazazy, Mohamed Adnane Mahraz, and Hamid Tairi. 2023. "Efficient U-Net Architecture with Multiple Encoders and Attention Mechanism Decoders for Brain Tumor Segmentation." *Diagnostics* 13(5):2–4. doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13050872>.
- Ali, Luqman, Hamad AlJassmi, Mohammed Swavaf, Wasif Khan, and Fady Alnajjar. 2024. "Rs-Net: Residual Sharp U-Net Architecture for Pavement Crack Segmentation and Severity Assessment." *Journal of Big Data* 11(1). doi: 10.1186/s40537-024-00981-y.
- Ali, Peshawa J. Muhammad. 2022. "Investigating the Impact of Min-Max Data Normalization on the Regression Performance of K-Nearest Neighbor with Different Similarity Measurements." *Journal of Koya University* 1:1–5. doi: 10.14500/aro.10955.
- Alves, Victor, and Carlos A. Silva. 2018. "Adaptive Feature Recombination and Recalibration for Semantic Segmentation: Application to Brain Tumor Segmentation in MRI." *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention* 10(2):706–14. doi: 10.1007/978-3-030-00931-1.
- Arif, Muhammad, and Mohammed A. Al Ghamdi. 2023. "SAA-UNet: Spatial Attention and Attention Gate UNet for COVID-19 Pneumonia Segmentation from Computed Tomography." *Journal of Diagnostics* 9:7–10. doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13091658>.
- Automation, Intelligent, and R. Rajaragavi. 2023. "Optimized U-Net Segmentation and Hybrid Res-Net for Brain Tumor MRI Images Classification Optimized U-Net Segmentation and Hybrid Res-Net for Brain Tumor MRI Images Classification." *Intelligent Automation & Soft Computing* 32(1):1–6. doi: 10.32604/iasc.2022.021206.
- Babu, P. Ashok, B. V. Subba Rao, Y. Vijay Bhaskar Reddy, G. Rajendra Kumar, J. Nageswara Rao, Surendra Kumar, Reddy Koduru, G. Sunil Kumar, and P. Ashok Babu. 2023. "CCC Publications Optimized CNN-Based Brain Tumor Segmentation and Classification Using Artificial Bee Colony and Thresholding." *International Journal of Computers Communications & Control* 18(1):1–18. doi: [oi.org/10.15837/ijccc.2023.1.4577](https://doi.org/10.15837/ijccc.2023.1.4577).
- Benhar, H., A. Idri, Computer Methods, A. Idri, and Computer Methods. 2020. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. Computer Methods and Programs in Biomedicine Received.
- Chandra, Nivedita. 2023. "ScienceDirect ScienceDirect 3D MRI Segmentation Using U-Net Architecture for the Detection of International Conference on Machine Learning and Data Engineering Brain Tumor 3D MRI Segmentation Using U-Net Architecture for the Detection of Tumor." *Procedia Computer Science* 218:542–53. doi: 10.1016/j.procs.2023.01.036.
- Chen, Wei. 2021. "ScienceDirect MAU-Net: MAU-Net: Multiple Multiple

- Attention Attention 3D U-Net for for Lung Lung Cancer Cancer Segmentation on CT Images Segmentation on CT Images.” *Procedia Computer Science* 192:543–52. doi: 10.1016/j.procs.2021.08.056.
- Deng, Wenjing, Qian Shi, and Jun Li. 2021. “Attention-Gate-Based Encoder-Decoder Network for Automatic Building Extraction.” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 14(1):2611–20. doi: 10.1109/JSTARS.2021.3058097.
- Djohar, Muhammad Awaludin, Anita Desiani, Ali Amran, Sugandi Yahdin, Dewi Lestari, Dwi Putri, Des Alwine Zayanti, and Novi Rustiana Dewi. 2022. “JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering) Liver Segmentation Using Convolutional Neural Network Method with U-Net Architecture.” *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering* 6(July):221–34.
- Eckle, Konstantin, and Johannes Schmidt-hieber. 2019. “A Comparison of Deep Networks with ReLU Activation Function and Linear Spline-Type Methods.” *Neural Networks* 110:232–42. doi: 10.1016/j.neunet.2018.11.005.
- Elaiza, Noor, Abd Khalid, Muhammad Firdaus Ismail, Muhammad Azri, and A. B. Manaf. 2020. “MRI Brain Tumor Segmentation : A Fortright Image Processing Approach.” *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* 9(3):1024–31. doi: 10.11591/eei.v9i3.2063.
- Fan, Henghui, Wenhui Yan, Lihua Wang, Jie Liu, and Yannan Bin. 2023. “Sequence Analysis Deep Learning-Based Multi-Functional Therapeutic Peptides Prediction with a Multi-Label Focal Dice Loss Function.” *Bioinformatics* 39(May):1–6. doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btad334>.
- Gao, Zan, Haixin Xue, and Shaohua Wan. 2020. “Multiple Discrimination and Pairwise CNN for View-Based 3D Object Retrieval.” *Neural Networks* 125:290–302. doi: 10.1016/j.neunet.2020.02.017.
- Gunasekara, Shanaka Ramesh, H. N. T. K. Kaldera, and Maheshi B. Dissanayake. 2021. “A Systematic Approach for MRI Brain Tumor Localization and Segmentation Using Deep Learning and Active Contouring.” *Journal of Healthcare Engineering* 2021(2):2–4. doi: 10.1155/2021/6695108.
- Haridas, Smitha, Meena Devi Vimala Kumari Nagendra Prasad, Vinoo Jacob, and Sreekanth Kavitha Sivaraman. 2022. “A Comparative Study of Orthogonal Planes for Diferential Diagnosis of Brain Tumor Lesions Through Mri.” *Suranaree Journal of Science and Technology* 29(2):1–7.
- Haseeb, Abdul, Zhigang Chen, Ahsan Ahmed, and Uzair Aslam. 2023. “Advance Brain Tumor Segmentation Using Feature Fusion Methods with Deep U-Net Model with CNN for MRI Data.” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 35(9):101793. doi: 10.1016/j.jksuci.2023.101793.
- Hermosilla, Pedro, Gloria Fackelmann, Marco Schäfer, and Tobias Ritschel. 2021. “Intrinsic-Extrinsic Convolution and Pooling for Learning on 3D Protein

- Structures.” *ICLR* 2(1):1–16.
- Huang, Zheng, Yiwen Zhao, Yunhui Liu, and Guoli Song. 2021. “Biomedical Signal Processing and Control GCAUNet : A Group Cross-Channel Attention Residual UNet for Slice Based Brain Tumor Segmentation.” *Biomedical Signal Processing and Control* 70(2):1–6. doi: 10.1016/j.bspc.2021.102958.
- Huang, Zhiguan, Xiaohao Du, and Liangming Chen. 2020. “Convolutional Neural Network Based on Complex Networks for Brain Tumor Image Classification With a Modified Activation Function.” *IEEE Access* 8(2):2–4. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993618.
- Hussain, Saddam, Syed Muhammad Anwar, and Muhammad Majid. 2017. “Brain Tumor Segmentation Using Cascaded Deep Convolutional Neural Network.” *IEEE Xplore* 17(1):1998–2001. doi: doi:10.1109/embc.2017.8037243.
- Irwansyah, Edy, Hansen Young, and Alexander A. S. Gunawan. 2023. “Multi Disaster Building Damage Assessment with Deep Learning Using Satellite Imagery Data.” *International Journal of Intelligent System and Application in Engineering* 11(1):1–3.
- Jenipher, V. Nisha. 2021. “Lung Cancer Survivability Prediction Application.” *IEEE Xplore* 4(Icicv):1–4.
- Ji, Shuiwang, Wei Xu, Ming Yang, and Kai Yu. 2013. “3D Convolutional Neural Networks for Human Action Recognition.” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 35(1):221–31. doi: 10.1109/TPAMI.2012.59.
- Jiang, Song, Yuan Gu, and Ela Kumar. 2023. “Magnetic Resonance Imaging (MRI) Brain Tumor Image Classification Based on Five Machine Learning Algorithms.” *Cloud Computing and Data Science* 4(2):87–242. doi: <https://doi.org/10.37256/ccds.4220232740>.
- Karayegen, Gökay, and Mehmet Feyzi Aksahin. 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(February). doi: 10.1016/j.bspc.2021.102458.
- Khan, Muazzam A., Urva Latif, Ahmad R. Shahid, Basit Raza, and Sheikh Ziauddin. 2021. “An End-to-End Brain Tumor Segmentation System Using Multi-Inception-UNET.” *International Journal of Imaging Systems and Technology* 31(4):1–14. doi: 10.1002/ima.22585.
- Khan, Wajiha Rahim, Tahir Mustafa Madni, Uzair Iqbal Janjua, Umer Javed, Muhammad Attique Khan, Majed Alhaisoni, Usman Tariq, and Jae Hyuk Cha. 2023. “A Hybrid Attention-Based Residual Unet for Semantic Segmentation of Brain Tumor.” *Computers, Materials and Continua* 76(1):647–64. doi: 10.32604/cmc.2023.039188.
- Kumar, Adesh. 2023. “Study and Analysis of Different Segmentation Methods for Brain Tumor MRI Application.” *Multimedia Tools and Applications* 82(1):7117–39.

- Kumar, K. Kavin, P. M. Dinesh, P. Rayavel, L. Vijayaraja, R. Dhanasekar, and Rupa Kesavan. 2023. "Brain Tumor Identification Using Data Augmentation and Transfer Learning Approach." *Computer Systems Science & Engineering* 46(2):1–4. doi: 10.32604/csse.2023.033927.
- Lenchik, Leon, Laura Heacock, Ashley A. Weaver, Robert D. Boutin, Tessa S. Cook, Jason Itri, Christopher G. Filippi, Rao P. Gullapalli, James Lee, Marianna Zagurovskaya, Tara Retson, Kendra Godwin, Joey Nicholson, and Ponnada A. Narayana. 2022. "Automated Segmentation of Tissues Using CT and MRI: A Systematic Review." *Academic Radiology* 26(12):1695–1706. doi: 10.1016/j.acra.2019.07.006.
- Li, Rui, Xiaodan Wang, Jian Wang, Yafei Song, and Lei Lei. 2020. "SAR Target Recognition Based on Efficient Fully Convolutional Attention Block CNN." *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS* 2(1):1–5.
- Li, Wen, Yafen Li, Wenjian Qin, Xiaokun Liang, Jianyang Xu, Jing Xiong, and Yaoqin Xie. 2020. "Magnetic Resonance Image (MRI) Synthesis from Brain Computed Tomography (CT) Images Based on Deep Learning Methods for Magnetic Resonance (MR)-Guided Radiotherapy." *Quantitative Imaging in Medicine* 10(6):1223–36. doi: 10.21037/qims-19-885.
- Liatsis, Panos, Abir Hussain, Salama A. Mostafa, and Dhiya Al-Jumeily. 2021. *Emerging Technology Trends in Internet of Things and Computing*. edited by J. Filipe, A. Ghosh, R. O. Prates, and L. Zhou. Communications in Computer and Information Science.
- Mahjoubi, Mohamed Amine, Soufiane Hamida, Oussama El Gannour, Bouchaib Cherradi, and Ahmed El Abbassi. 2023. "Improved Multiclass Brain Tumor Detection Using Convolutional Neural Networks and Magnetic Resonance Imaging." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 14(3):406–14.
- Maiyanti, Sri Indra, Anita Desiani, Syafrina Lamin, Muhammad Arhami, Nuni Gofar, and Destika Cahyana. 2023. "Rotation-Gamma Correction Augmentation on CNN-Dense Block for Soil Image Classification." 19(3):96–115. doi: 10.35784/acs-2023-27.
- Markkandeyan, S., Shivani Gupta, G. Venkat Narayanan, M. Jithender Reddy, Mahmoud Ahmad Al-khasawneh, Mohammad Ishrat, Ajmeera Kiran, S. Markkandeyan, and Mahmoud Ahmad Al-khasawneh. 2023. "CCC Publications Deep Learning Based Semantic Segmentation Approach for Automatic Detection of Brain Tumor." *International Journal of Computers Communications & Control* 18(4):1–4. doi: https://doi.org/10.15837/ijccc.2023.4.5186.
- Maturana, Daniel, and Sebastian Scherer. 2015. "VoxNet: A 3D Convolutional Neural Network for Real-Time Object Recognition." *International Conference on Intelligent Robots and Systems* 2(1):922–28.
- Montaha, Sidratul, Sami Azam, A. K. M. Rakibul Haque, Rafid Zahid, and Hasan Asif. 2023. "Brain Tumor Segmentation from 3D MRI Scans Using U-Net."

- SN Computer Science* 4(4):1–10. doi: 10.1007/s42979-023-01854-6.
- Noori, Mehrdad, Ali Bahri, and Karim Mohammadi. 2019. “Attention-Guided Version of 2D UNet for Automatic Brain Tumor Segmentation.” *International Conference on Computer and Knowledge Engineering (Iccke)*:269–75. doi: 10.1109/ICCKE48569.2019.8964956.
- Oktay, Ozan, Jo Schlemper, Loic Le Folgoc, Matthew Lee, Mattias Heinrich, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, Steven Mcdonagh, Nils Y. Hammerla, Bernhard Kainz, Ben Glocker, and Daniel Rueckert. 2018. “Attention U-Net : Learning Where to Look for the Pancreas.” *Medical Imaging with Deep Learning* 3(Midl):1–3.
- Padma, V. 2020. “Study the Influence of Normalization / Transformation Process on the Accuracy of Supervised Classification.” *IEEE Xplore* 1(Icssit):2–3.
- Proti, Danijela, and Ivan Vuli. 2023. “Numerical Feature Selection and Hyperbolic Tangent Feature Scaling in Machine Learning-Based Detection of Anomalies in the Computer Network Behavior.” *Electronics* 12(1):1–4. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12194158>.
- Purwono, and Iis Setiawan Mangkunegara. 2023. “Evaluation of Stochastic Gradient Descent Optimizer on U-Net Architecture for Brain Tumor Segmentation.” *International Journal of Robotics and Control Systems* 3(3):588–98. doi: <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v3i3.1104>.
- Putra, Akbar Trisnamulya, Koredianto Usman, and Sofia Saidah. 2021. “Webinar Student Presence System Based on Regional Convolutional Neural Network Using Face Recognition.” *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)* 2(2):109–18. doi: 10.20884/1.jutif.2021.2.2.82.
- Qamar, Farid. 2020. “Pixel-Wise Classification of High-Resolution Ground-Based Urban Hyperspectral Images with Convolutional Neural Networks.” *Remote Sensing* 12(1):2–4. doi: 10.3390/rs12162540.
- Qian, Ledan, Libing Hu, Li Zhao, Tao Wang, and Runhua Jiang. 2020. “Sequence-Dropout Block for Reducing Overfitting Problem in Image Classification.” *IEEE Access* 8:62830–40. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983774.
- Rachmadi, Muhammad Febrian, Charissa Poon, and Henrik Skibbe. 2023. “Improving Segmentation of Objects with Varying Sizes in Biomedical Images Using Instance-Wise and Center-of-Instance Segmentation Loss Function.” *Proceedings of Machine Learning Research* 2(1):2–4.
- Rasool, Novsheena, and Javaid Iqbal Bhat. 2023. “Multimodal Brain Tumor Segmentation Using 3D-U-Net.” *Indian Journal of Natural Sciences* 14(78):57473–80.
- Reddy, Sai PrasannaTeja, Surya Teja Karri, Shiv Ram Dubey, and Snehasis Mukherjee. 2019. “Spontaneous Facial Micro-Expression Recognition Using 3D Spatiotemporal Convolutional Neural Networks.” Pp. 1–8 in *2019 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. IEEE.
- Rehman, Mobeen Ur, Seungbin Cho, and Jee Hong Kim. 2020. “BU-Net : Brain

- Tumor Segmentation Using Modified.” *Electronics* 9(1):1–12. doi: 10.3390/electronics9122203.
- Schenck, John F. 2021. “The Role of Magnetic Susceptibility in Magnetic Resonance Imaging : MRI Magnetic Compatibility of the First and Second Kinds.” *The International Journal of Medical Physics Research and Practice* 815(1):2–4. doi: 10.1118/1.597854.
- Singh, Dalwinder, and Birmohan Singh. 2019. “Investigating the Impact of Data Normalization on Classification Performance.” *Applied Soft Computing Journal* (xxxx):105524. doi: 10.1016/j.asoc.2019.105524.
- Srivastava, Nitish, Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Ruslan Salakhutdinov. 2014. “Dropout : A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting.” *Journal of Machine Learning Research* 15(1):1929–58.
- Tong, Xiaozhong, Junyu Wei, Bei Sun, Shaojing Su, Zhen Zuo, and Peng Wu. 2021. “ASCU-Net : Attention Gate , Spatial and Channel Attention U-Net for Skin Lesion Segmentation.” *Diagnostics* 11:1–4. doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030501>.
- Vijay, Sanchit, Thejineaswar Guhan, and Kathiravan Srinivasan. 2023. “MRI Brain Tumor Segmentation Using Residual Spatial Pyramid.” *Frontiers in Public Health* 11(1):2–5. doi: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1091850>.
- Walsh, Jason, Alice Othmani, Mayank Jain, and Soumyabrata Dev. 2022. “Using U-Net Network for Efficient Brain Tumor Segmentation in MRI Images.” *Healthcare Analytics* 2(August):100098. doi: 10.1016/j.health.2022.100098.
- Woo, Sanghyun, Jongchan Park, Joon-young Lee, and In So Kweon. 2022. “CBAM : Convolutional Block Attention Module.” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 2(1):3–5.
- Xu, Jiayang, Aniruddhe Pradhan, and Karthik Duraisamy. 2021. “Neural Networks for Mesh-Based Modeling of Physical Systems.” *Conference on Neural Information Processing Systems* 2(NeurIPS):1–12.
- Yang, Guang, Fangde Liu, and Yuanhan Mo. 2017. “Automatic Brain Tumor Detection and Segmentation Using U-Net Based Fully Convolutional Networks.” *Medical Image Understanding and Analysis* 1(1):506–17. doi: 10.1007/978-3-319-60964-5.
- Yousef, Rammah, Shakir Khan, Gaurav Gupta, Tamanna Siddiqui, Bader M. Albahla, Saad Abdullah Alajlan, and Mohd Anul Haq. 2023. “U-Net-Based Models towards Optimal MR Brain Image Segmentation.” *Diagnostics* 13(9):2–5. doi: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13091624>.
- Zhang, Cheng, Jian Shi, Xuan Deng, and Zizhao Wu. 2022. “Upsampling Autoencoder for Self-Supervised Point Cloud Learning.” *Journal of Computer System and Informatics* 1(1):1–4.
- Zhang, Jianxin. 2024. “MAU-Net : Mixed Attention U-Net for MRI Brain Tumor Segmentation MAU-Net : Mixed Attention U-Net for MRI Brain Tumor Segmentation.” *Mathematical Biosciences and Engineering* 20(12):1–5. doi:

10.3934/mbe.2023907.

Zhang, Jianxin, Zongkang Jiang, and Jing Dong. 2020. "Attention Gate ResU-Net for Automatic MRI Brain Tumor Segmentation." *IEEE Access* 8(1):58533–45. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983075.

Zhang, Jianxin, Xiaogang Lv, Hengbo Zhang, and Bin Liu. 2020. "AResU-Net: Attention Residual U-Net for Brain Tumor Segmentation." *Symmetry* 12(5):1–15. doi: 10.3390/SYM12050721.

Zhang, Jie, Bowen Zheng, Ang Gao, Xin Feng, Dong Liang, and Xiaojing Long. 2021. "A 3D Densely Connected Convolution Neural Network with Connection-Wise Attention Mechanism for Alzheimer ' s Disease Classification." *Magnetic Resonance Imaging* 78:119–26. doi: 10.1016/j.mri.2021.02.001.