



UNIVERSITAS INDONESIA

***WHITE-MATTER AND GRAY-MATTER BRAIN IMAGE MRI MODALITIES 3D  
DATA VISUALIZATION USING MATLAB***

**TUGAS AKHIR PENCITRAAN MEDIS**

**FAUZAAN TAUFIQURRAHMAN (2106634805)  
ZOY ANASTASYA ZALIANTY (2106705663)  
HASAN ABDUL LATHIF (2206815503)  
SHERLY ANGEL ZULIANY (2206028434)**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK BIOMEDIK  
DEPOK  
2023**



UNIVERSITAS INDONESIA

***WHITE-MATTER AND GRAY-MATTER BRAIN IMAGE MRI MODALITIES 3D  
DATA VISUALIZATION USING MATLAB***

**TUGAS AKHIR PENCITRAAN MEDIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan mata kuliah Teknologi Pencitraan Medis**

**FAUZAAN TAUFIQURRAHMAN (2106634805)  
ZOY ANASTASYA ZALIANTY (2106705663)  
HASAN ABDUL LATHIF (2206815503)  
SHERLY ANGEL ZULIANY (2206028434)**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM STUDI TEKNIK BIOMEDIK  
DEPOK  
DESEMBER 2023**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir mata kuliah Pencitraan Medis yang berjudul **“White-Matter and Gray-Matter Brain Image MRI Modalities 3D Data Visualization using MATLAB.”** Laporan tugas akhir ini disusun untuk diajukan sebagai salah satu syarat lulus pada mata kuliah terkait, terutama dalam memenuhi kewajiban Ujian Akhir Semester Ganjil 2023/2024 Teknik Biomedik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis tidak terlepas dari hambatan dan kendala. Bantuan, bimbingan, dan dukungan diterima oleh penulis dari beberapa pihak untuk keberhasilan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang Maha Kuasa sehingga penyusunan laporan tugas akhir ini dalam diselesaikan dengan sebaik-baiknya.
2. Bapak Dr. Basari, S.T., M.Eng., PhD selaku dosen pengampu mata kuliah Pencitraan Medis yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, baik selama perkuliahan maupun penyusunan tugas akhir.
3. Bapak Syahrul Ramdani, S.T., M.Eng., selaku dosen pengampu mata kuliah Topik Khusus Biomedik yang memberikan ilmu dan pengetahuan seputar Pencitraan Medis, serta kesediaannya untuk menjawab pertanyaan yang diajukan penulis selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Seluruh tim dosen Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia atas segala ilmu dan pengetahuan yang ditanamkan selama ini.
5. Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan keberhasilan penulis.
6. Teman-teman penulis di Departemen Teknik Elektro angkatan 2021 dan angkatan 2022, terutama mahasiswa Teknik Biomedik yang senantiasa memberikan dukungan serta membantu dan menemani penulis selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari gagasan yang diberikan dalam laporan ini masih jauh dari kata sempurna dan masih perlu dikembangkan lebih jauh. Maka demikian penulis terbuka dengan kritik dan saran yang bersifat konstruktif agar lebih baik lagi di masa mendatang. Penulis sangat berharap dapat memberikan pemahaman yang dalam terkait topik yang dibahas dan menjadi manfaat lebih baik untuk mengembangkan teknologi serupa yang lebih inovatif dan menjanjikan ke depannya.

Depok, 27 Desember 2023  
Penulis

## ABSTRAK

|               |   |
|---------------|---|
| Kelompok      | : 7 (Tujuh)   |
| Program Studi | : Teknik Biomedik   |
| Judul         | : <i>White-Matter And Gray-Matter Brain Image Mri Modalities 3D Data Visualization Using Matlab</i> |
| Pembimbing    | : Dr. Basari, S.T., M.Eng.  |

Pencitraan medis telah menghadirkan generasi baru dalam memahami struktur tubuh manusia, terutama pada otak dengan memvisualisasikannya dalam tiga dimensi. Maka dari itu, dikembangkan algoritma program berbasis MATLAB untuk mensegmentasi dan memvisualisasikan otak serta jaringan *gray matter* dan *white matter* secara 3D dari data DICOM, hasil pencitraan modalitas MRI. Metode *nearest neighbor interpolation*, *isosurface*, dan *marching cube* digunakan dalam proses segmentasi dan visualisasi. Hasil simulasi menunjukkan keberhasilan dalam mensegmentasi jaringan dan visualisasi otak dalam bentuk 3D dengan waktu komputasi yang efisien. Namun, ada keterbatasan dalam orientasi data *imaging* dan optimalitas segmentasi untuk organ selain otak.

**Kata kunci:** MRI, Visualisasi Otak, 3D, MATLAB, Segmentasi Jaringan

## ABSTRACT

|               |   |
|---------------|---|
| Group         | : 7 (Seven)   |
| Study Program | : Biomedical Engineering  |
| Title         | : <i>White-Matter And Gray-Matter Brain Image Mri Modalities 3D Data Visualization Using Matlab</i> |
| Counsellor    | : Dr. Basari, S.T., M.Eng.  |

Medical imaging has brought a new generation of understanding of the structure of the human body, especially the brain, by visualizing it in three dimensions. Therefore, a MATLAB-based algorithm program was developed to segment and visualize the brain and gray matter and white matter tissue in 3D from DICOM data, resulting in an MRI imaging modality. Nearest neighbor, isosurface, and marching cube interpolation methods are used in the segmentation and visualization process. The simulation results show success in segmenting networks and visualizing the brain in 3D with efficient computing time. However, there are limitations in imaging data orientation and segmentation optimality for organs other than the brain.

**Keyword:** MRI, Brain Visualization, 3D, MATLAB, Tissue Segmentation

## DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| HALAMAN SAMPUL.....                                      | i         |
| HALAMAN JUDUL.....                                       | ii        |
| KATA PENGANTAR.....                                      | iii       |
| ABSTRAK/ABSTRACT.....                                    | iv        |
| DAFTAR ISI.....  | v         |
| DAFTAR GAMBAR.....                                       | vii       |
| DAFTAR TABEL.....  | viii      |
| DAFTAR LAMPIRAN.....                                     | ix        |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                            | <b>10</b> |
| 1.1 Latar Belakang.....                                  | 10        |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                 | 11        |
| 1.3 Tujuan Laporan.....                                  | 11        |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                 | 11        |
| 1.5 Sistematika Penulisan.....                           | 12        |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                      | <b>13</b> |
| 2.1 Image Visualization.....                             | 13        |
| 2.2 Anatomi Otak.....                                    | 13        |
| 2.3 Gray-Matter dan White Matter.....                    | 15        |
| 2.4 Magnetic Resonance Imaging (MRI) dan Data DICOM..... | 16        |
| 2.5 Histogram Otak.....                                  | 17        |
| 2.6 State Of The Art.....                                | 18        |
| <b>BAB III METODOLOGI.....</b>                           | <b>23</b> |
| 3.1 Alat dan Bahan.....                                  | 23        |
| 3.2 Metode Digunakan.....                                | 23        |
| 3.2.1 Nearest Neighbor Interpolation.....                | 24        |
| 3.2.2 Isosurface Method.....                             | 24        |
| 3.3 Algoritma.....                                       | 26        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.4 Hasil Simulasi dan Pembahasan..... | 27        |
| 3.5 Perbandingan.....                  | 31        |
| <b>BAB IV PENUTUP.....</b>             | <b>34</b> |
| 4.1. Kesimpulan.....                   | 34        |
| 4.2. Saran.....                        | 34        |
| <b>DAFTAR REFERENSI.....</b>           | <b>35</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Anatomi Otak ( <i>Cerebrum</i> ).....                                | 14 |
| Gambar 2.2 <i>White Matter</i> dan <i>Gray Matter</i> .....                     | 15 |
| Gambar 2.3 Hasil Citra MRI Kepala.....  | 16 |
| Gambar 2.4 Histogram Distribusi Intensitas Sinyal MRI Otak.....                 | 18 |
| Gambar 3.1 Implementasi <i>Nearest Neighbor Interpolation</i> .....             | 24 |
| Gambar 3.2 Implementasi Interpolasi untuk <i>Image Resizing</i> .....           | 24 |
| Gambar 3.3 Visualisasi dengan <i>Contour Slice Method</i> .....                 | 25 |
| Gambar 3.4 Visualisasi dengan <i>Isosurface Method</i> .....                    | 25 |
| Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Algoritma Program MATLAB.....                       | 26 |
| Gambar 3.6 Penampilan Dataset MRI Kepala (60 Data, Frontal).....                | 27 |
| Gambar 3.7 Penampilan Data MRI Kepala ke 30 Tanpa Leher.....                    | 28 |
| Gambar 3.8 Hasil Segmentasi Otak dari <i>Soft Tissue</i> Lainnya.....           | 29 |
| Gambar 3.9 Tampilan Segmentasi <i>White Matter</i> dan <i>Gray Matter</i> ..... | 29 |
| Gambar 3.10 Tampilan Hasil Akhir Visualisasi 3D Otak.....                       | 30 |
| Gambar 3.11 Perbandingan Hasil Visualisasi 3D.....                              | 31 |
| Gambar 3.12 Uji Dataset Lain dari Otak Modalitas MRI (20 Data).....             | 32 |
| Gambar 3.13 Uji Dataset Lain.....   | 32 |

**DAFTAR TABEL**

|  |      |
|--|------|
| Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian Terdahulu.....                | 19   |
| Tabel 3.1 Alat dan Bahan <i>3D Image Visualization</i> ..... | 2323 |
| Tabel 3.2 Perbandingan Hasil dan <i>Repository</i> .....     | 3131 |

**DAFTAR LAMPIRAN**

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Lampiran 1 Kode Utama MATLAB..... | 3737 |
|-----------------------------------|------|

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Dalam dunia pencitraan medis telah dihadirkan generasi baru dalam memahami dan memvisualisasikan secara detail tubuh manusia yang kompleks, khususnya melalui representasi dalam bentuk tiga dimensi. Teknologi visualisasi yang semakin maju ini memungkinkan pemeriksaan komprehensif terhadap lapisan jaringan pada tingkat *pixel* per *pixel* dalam konteks yang lebih luas dari struktur tiga dimensi tubuh manusia. Di antara berbagai organ dan struktur yang dipelajari, otak tampil sebagai organ yang sangat kompleks dengan daerah yang berbeda yang terdiri dari berbagai jenis jaringan, yang secara signifikan menampilkan *gray matter* dan *white matter*.

*Gray matter* mencakup banyak sekali komponen, termasuk badan sel saraf, dendrit, percabangan lokal akson, sel glial, dan pembuluh darah. Sedangkan, *white matter* sebagian besar terdiri dari kumpulan akson yang melintasi jarak jauh di dalam otak, membentuk jaringan penting untuk komunikasi. Pentingnya memahami struktur dan komposisi otak telah mendorong pengembangan modalitas pencitraan yang canggih, seperti *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), untuk mempelajari kompleksitasnya.

Pencitraan MRI, yang merupakan bagian terintegrasi dari bidang pencitraan medis, memberikan wawasan yang rinci tentang anatomi otak. Namun, data yang diperoleh dari pemindaian MRI biasanya disajikan sebagai serangkaian gambar irisan dua dimensi dengan variasi parameter seperti jarak antar irisan dan ketebalan irisan. Variabilitas ini dapat menimbulkan tantangan, terutama ketika mengevaluasi penanda kecil di dalam otak, karena struktur penting dapat menjangkau beberapa irisan. Oleh karena itu, rekonstruksi gambar Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) menjadi representasi tiga dimensi menjadi sangat penting untuk secara akurat menangkap karakteristik pemeriksaan dan mempertahankan sifat 3D otak pasien.

Dalam situasi ini, MATLAB muncul sebagai alat yang ampuh untuk visualisasi data dua dimensi menjadi bentuk tiga dimensi, yang memungkinkan para peneliti dan profesional medis untuk menavigasi kompleksitas struktur white matter dan gray matter

di otak. Pendekatan berbasis ilmu pengetahuan interdisipliner ini menggabungkan ketepatan teknik pencitraan modern dengan kecakapan komputasi MATLAB, sehingga membuka jalan untuk meningkatkan pemahaman dan analisis kompleksitas otak manusia. Pembahasan ini mengeksplorasi pentingnya visualisasi tiga dimensi dalam konteks modalitas MRI citra otak white-matter dan gray-matter menggunakan MATLAB, yang menekankan peran pentingnya dalam memajukan pemahaman kita tentang struktur dan fungsi neurologis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, rumusan masalah dari perancangan project ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses 3D *visualization* dari DICOM data otak hasil *imaging* modalitas MRI?
2. Bagaimana algoritma segmentasi otak dari kepala dan segmentasi jaringan *gray-matter* dan *white-matter* pada otak?
3. Bagaimana perbedaan hasil visualisasi otak dengan yang ada pada literatur dan *repository algorithm*?
4. Bagaimana implementasi program dapat bekerja pada organ selain dari otak?

## 1.3 Tujuan Laporan

Dengan rumusan masalah diatas, tujuan dari *project* ini adalah menghasilkan algoritma program berbasis MATLAB yang mampu mensegmentasikan otak dan jaringan otak terutama *gray-matter* dan *white-matter* untuk kemudian divisualisasikan secara 3D Model dengan parameter distribusi intensitas yang dispesifikasikan oleh pengguna algoritma program.

## 1.4 Batasan Masalah

Proses pembuatan laporan ini dibatasi dengan beberapa parameter dan metode sebagai berikut.

1. Perancangan algoritma dianalisis dari parameter-parameter spesifik yang terdapat dalam visualisasi pencitraan otak seperti distribusi intensitas.

2. Penggunaan dataset dipastikan merupakan dataset dengan orientasi dan hasil *scan imaging* dengan variasi yang memungkinkan untuk menghasilkan segmentasi terbaik.
3. Basis perancangan algoritma menggunakan MATLAB dengan algoritma *image processing tools* bawaan pada *software*.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibagi menjadi lima bab yang terdiri dari:

- BAB I** berupa pendahuluan yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan laporan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
- BAB II** berupa tinjauan pustaka yang mencakup penjelasan detail tentang *image visualization*, anatomi otak, *gray-matter* dan *white-matter*, *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), data DICOM, dan *state of the art*.
- BAB III** berupa metodologi yang mencakup alat dan bahan, metode digunakan, algoritma sistem, hasil simulasi, pembahasan, dan perbandingan.
- BAB IV** berupa penutup yang mencakup kesimpulan dan saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Image Visualization

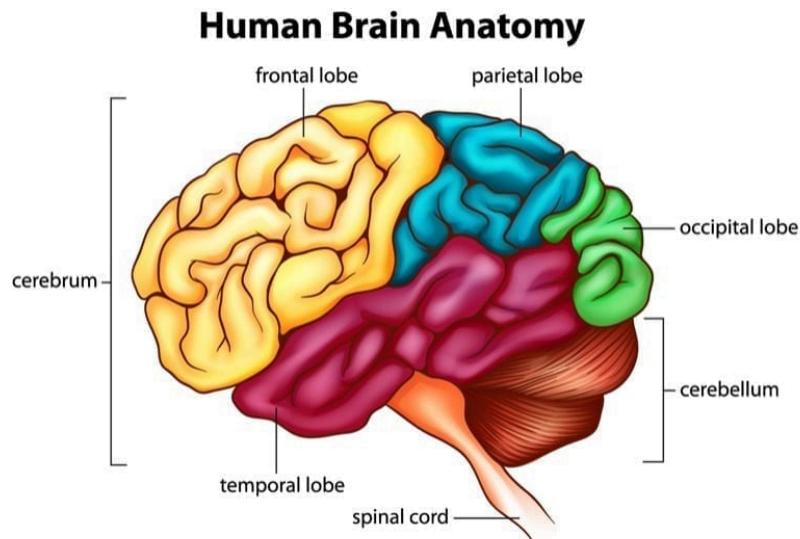
*Image visualization* adalah proses mengubah data yang kompleks dan berdimensi menjadi representasi visual yang mudah diinterpretasikan dan dipahami. Pada data, volume dan kompleksitas informasi bisa sangat besar, *image visualization* yang efektif memainkan peran penting dalam menyaring wawasan yang bermakna dengan cepat dan efisien.

Di bidang medis, khususnya dalam pencitraan medis yang menggunakan teknik seperti CT (*Computed Tomography*) dan MRI (*Magnetic Resonance Imaging*), *image visualization* digunakan untuk menghasilkan gambar detail struktur internal untuk tujuan diagnostik, pembelajaran medis, dan pengembangan yang menjadi jembatan antara data yang kompleks dan pemahaman manusia. Visualisasi ini memanfaatkan persepsi visual dan interaksi manusia dengan komputer untuk menyajikan data dengan cara yang intuitif secara visual. Visualisasi gambar medis, khususnya, berfokus pada penyajian gambar medis dalam 3D dengan akurasi tinggi, memungkinkan para profesional medis untuk mengeksplorasi dan memahami struktur anatomi yang rumit.

Menggabungkan data MRI dengan pendekatan visualisasi 3D yang interaktif menjadi sangat berharga. Pendekatan ini lebih dari sekadar representasi, dengan menambahkan lapisan interpretasi yang membutuhkan pemahaman mendalam tentang konsep medis dan radiologi. Dengan mengintegrasikan data MRI dengan teknik digital 3D, tenaga medis dapat meningkatkan kemampuan mereka dalam menginterpretasikan dan mengkomunikasikan informasi medis yang kompleks.

#### 2.2 Anatomi Otak

Otak adalah organ pusat sistem saraf pada manusia. Otak merupakan bagian penting dari sistem saraf yang terletak di dalam tengkorak dan dilindungi oleh tulang tengkorak. Anatomi otak mencakup struktur dan fungsi dari otak itu sendiri.



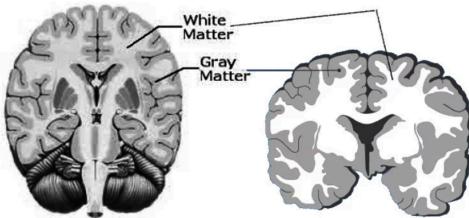
Gambar 2.1 Anatomi Otak (*Cerebrum*)

Otak besar dibagi menjadi beberapa bagian. Dimulai dari bagian terluar, Cortex, adalah lapisan terluar otak dan terlibat dalam pengolahan informasi sensorik, pemikiran sadar, dan pengendalian gerakan refleks. Lobus frontal merupakan bagian depan dari otak dan memiliki fungsi pada pemecahan masalah, berbicara, penentuan baik dan buruk hingga kontrol emosi. Bergeser sedikit ke belakang dari lobus frontal terdapat lobus parietal yang berperan pada persepsi sensorik dan integrasi informasi sensorik dari berbagai bagian tubuh. Lobus temporal berada dekat dengan spinal cord terlibat dalam pengolahan auditori dan pengenalan wajah. Kemudian terdapat lobus oksipital yang berperan pada pengolahan visual.

Cerebelum adalah struktur yang terletak di bagian belakang otak, di bawah cerebrum dan di atas batang otak (Brainstem). Cerebelum bertanggung jawab atas beberapa fungsi diantaranya koordinasi gerakan, pengaturan keseimbangan, kontrol pada otot dan gerakannya, hingga pembelajaran motorik. Pada batang otak atau Brainstem terdapat tiga bagian utama yaitu medula oblongata, pons, dan mesencephalon. Medula oblongata berfungsi mengontrol fungsi otomatis seperti pernafasan, detak jantung dan tekanan darah. Sementara pada bagian pons memegang fungsi pengaturan tidur, pernafasan dan fungsi otot wajah, dan selanjutnya mesenphalon yang terlibat pada pengaturan respon visual dan auditori juga kontrol pada gerak mata.

Terdapat lobus limbik yang berperan aktif pada pengaturan emosi, motivasi, pembelajaran dan memori.

### 2.3 Gray-Matter dan White Matter

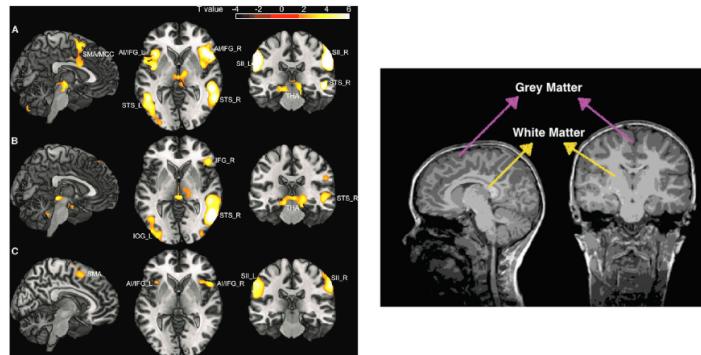


Gambar 2.2 *White Matter* dan *Gray Matter*

Otak manusia adalah organ yang kompleks, dan strukturnya dapat dikategorikan secara luas menjadi *gray matter* dan *white matter*. Seiring bertambahnya ukuran otak, *white matter* di bawah korteks cenderung berkembang lebih cepat daripada *gray matter* kortikal itu sendiri. *Gray matter* terdiri dari badan sel saraf, dendrit, percabangan lokal akson, sel glial, dan pembuluh darah. *gray matter* memainkan peran penting dalam pemrosesan informasi, karena di sinilah sebagian besar sinapsis dan koneksi saraf terjadi. Wilayah ini bertanggung jawab atas berbagai fungsi kognitif, termasuk persepsi, memori, dan pengambilan keputusan.

Sementara itu, *white matter* ditandai dengan kumpulan akson yang memanjang dalam jarak yang jauh. Tidak seperti *gray matter*, yang padat dengan badan sel, *white matter* sebagian besar terdiri dari akson neuron yang bermyelin. Myelin adalah zat lemak yang membungkus akson, memberikan isolasi dan memungkinkan transmisi sinyal listrik yang lebih cepat di antara neuron. Dalam konteks konektivitas otak, serabut *white matter* utamanya berfungsi sebagai jaringan yang menghubungkan daerah kortikal yang berbeda, dibanding menghubungkan korteks dengan struktur subkortikal. Jaringan yang rumit ini memfasilitasi komunikasi dan koordinasi antara berbagai wilayah otak, memungkinkan integrasi informasi dan pelaksanaan proses kognitif yang kompleks.

## 2.4 Magnetic Resonance Imaging (MRI) dan Data DICOM



Gambar 2.3 Hasil Citra MRI Kepala

MRI atau Magnetic Resonance Imaging adalah teknik pencitraan non-invasif yang dapat menghasilkan citra tiga dimensi dari organ dalam tubuh manusia. Teknologi MRI didasarkan pada kemampuan untuk mendeteksi perubahan arah sumbu rotasi proton yang ditemukan di dalam air dan membentuk jaringan hidup. MRI memanfaatkan magnet yang kuat untuk menghasilkan medan magnet dan memaksa proton dalam tubuh untuk sejajar dengan medan tersebut, dengan begitu arus frekuensi radio dialirkan dan proton terstimulasi. Proton secara alami akan berusaha untuk melawan tarikan medan magnet tersebut. Ketika medan frekuensi radio dihentikan, proton akan mulai menyelaraskan diri dan melepaskan energi. Energi inilah yang selanjutnya akan dideteksi oleh sensor pada MRI. Data seperti waktu yang diperlukan proton untuk menyelaraskan diri serta jumlah energi yang dilepaskan akan berbeda sesuai dengan jenis jaringannya karena sifat kimiawi pada tiap jaringan berbeda. Ini menjadi dasar untuk membedakan berbagai jenis jaringan pada hasil citra MRI.

Dengan karakteristiknya yang didasari pada sifat kimia, teknik pencitraan MRI sangat cocok digunakan untuk mencitrakan jaringan lunak. Beberapa organ seperti otak, sumsum tulang belakang dan saraf, hingga otot, tendon dan ligamen terlihat jauh lebih jelas jika dibandingkan dengan sinar X biasa ataupun CT. Secara spesifik pada otak, MRI mampu membedakan *grey matter* dan *white matter* hingga diagnosis tumor. Alasan ini juga mendasari peneliti untuk menggunakan hasil citra MRI pada penelitian ini.

Data DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) pada MRI merupakan format khusus yang digunakan untuk menyimpan dan mentransmisikan gambar medis, khususnya yang diperoleh melalui magnetic resonance imaging (MRI).

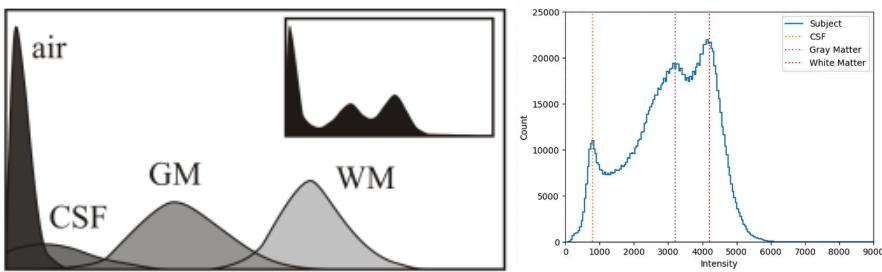
MRI telah lama digunakan untuk menangkap gambar otak yang terperinci, sehingga memungkinkan pemeriksaan anatomi dan fungsi otak. Kondisi seperti tumor dan kista dapat didiagnosis melalui analisis gambar MRI ini. DICOM adalah format standar untuk merepresentasikan dan bertukar gambar medis tersebut.

Gambar DICOM dari pemeriksaan MRI menyimpan metadata penting untuk setiap irisan, yang memberikan informasi seperti ketebalan irisan, jarak antar irisan, dan resolusi gambar. Metadata ini sangat penting untuk rekonstruksi gambar tiga dimensi (3D) yang akurat, karena keberhasilan proses rekonstruksi bergantung pada ketepatan gambar DICOM dan metadata terkait. Format DICOM bersifat universal, yang dapat menampung gambar dari berbagai perangkat pencitraan, yang berkontribusi pada penggunaannya secara luas dalam pencitraan medis.

## 2.5 Histogram Otak

Histogram otak adalah representasi visual dari distribusi nilai data dalam gambar otak, khususnya dalam analisis pencitraan medis. Salah satu penggunaan utama histogram otak adalah dalam pemeriksaan gambar yang dihasilkan melalui *Magnetic Resonance Imaging* (MRI). Pemeriksaan MRI memberikan informasi anatomi yang rinci tentang otak, dan histogram menjadi alat yang berharga untuk menganalisis distribusi jenis jaringan yang berbeda, seperti *gray matter*, *white matter*, dan cairan serebrospinal, di dalam pencitraan.

Distribusi intensitas ditentukan melalui histogram, sehingga memungkinkan pemeriksaan yang lebih dekat terhadap variasi intensitas piksel di seluruh gambar. Hal ini sangat penting dalam membedakan antara berbagai jenis jaringan otak dengan intensitas sinyal yang berbeda-beda dalam gambar MRI. *Gray matter*, *white matter*, dan cairan serebrospinal menunjukkan karakteristik intensitas yang berbeda, dan histogram memungkinkan para peneliti dan profesional medis untuk mendapatkan wawasan tentang preferensi dan distribusi intensitas di seluruh gambar otak.



Gambar 2.4 Histogram Distribusi Intensitas Sinyal MRI Otak

Untuk membedakan antara jaringan-jaringan pada otak, perlunya mengidentifikasi intensitas modus yang terkait dengan setiap jenis jaringan. Modus mewakili nilai intensitas yang paling sering muncul dalam histogram. Dalam pencitraan otak, modus ini dapat terlihat sebagai puncak yang sesuai dengan intensitas white matter dan gray matter yang paling dominan. Dengan mengetahui letak puncak-puncak ini dalam histogram, maka menjadi mungkin untuk melihat nilai intensitas karakteristik yang mencirikan setiap jenis jaringan.

Cara yang optimal untuk membedakan antara materi putih dan materi abu-abu adalah dengan menetapkan threshold intensitas antara puncak-puncak yang berhubungan dengan kedua jenis jaringan dalam histogram. Threshold ini mendefinisikan titik pemisahan yang membantu dalam mensegmentasi gambar ke dalam wilayah yang sesuai dengan white matter dan gray matter.

## 2.6 State Of The Art

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan *image visualization* 3 dimensi dengan penggunaan Matlab diantara lain adalah penelitian yang dilakukan oleh Duška Kleut, Milorad Jovanović dan prof. dr Branimir Reljin pada penelitian mereka yang berjudul “*3D Visualization of MRI images using MATLAB*” tahun 2006. Pada penelitian ini menjelaskan bagaimana penggunaan MATLAB dalam merekonstruksi gambar tiga dimensi dari citra otak manusia. Penelitian ini menggunakan metode penyajian melalui contoh yang tidak memungkinkan “masuk” secara virtual ke dalam struktur 3D, tetapi memungkinkan pemotongan volume yang diinginkan ke ukuran satu piksel gambar asli. Lapisan tomografi pada kedalaman yang sesuai kedalaman akan ditampilkan di kedua sisi yang dipilih secara paralelopiped.

Penelitian selanjutnya adalah pada tahun 2022 oleh Aziz Fajar bersama rekan rekannya Riyanto Sarno, Chastine Fatichah, dan Ahmad Fahmi berjudul “*Merekonstruksi dan mengubah ukuran gambar 3D dari file DICOM*”. Pada penelitian ini mengusung pembaruan algoritma rekonstruksi gambar 3D dari data medis berformat DICOM dengan mengubah ukuran data gambar sekaligus mempertahankan anotasi. Metode yang mereka gunakan pada penelitian tersebut adalah trilinear interpolation dimana digunakan perhitungan nilai diantara titik-titik data yang diketahui dalam tiga dimensi yang dapat mewakili intensitas warna, kepadatan, atau nilai lainnya yang berkaitan dengan ruang 3 dimensi.

Berdasarkan sejumlah penelitian tersebut, penelitian ini merupakan penelitian pertama yang mengusung pembaruan teknik visualisasi 3 dimensi otak dengan menggunakan metode Isosurface dan *Nearest Neighbour Interpolation*.

Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian Terdahulu

| No. | Penulis                | Tahun | Lokasi  | Metode  | Kegunaan   | Modalitas                     |
|-----|------------------------|-------|---------|---|--|-------------------------------|
| 1   | A. Fajar, et al        | 2022  | Otak    | Algoritma untuk merekonstruksi gambar 3D berdasarkan gambar medis dalam format DICOM dengan metadata yang bervariasi dan mengubah ukuran gambar 3D dengan tetap mempertahankan penjelasannya. | Gambar yang dihasilkan dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan menggunakan metode seperti generative adversarial networks untuk memperbaiki gambar DICOM, terutama untuk jarak yang besar di antara irisan. | MRI                           |
| 2   | Pekka Ruusuvuori et al | 2022  | Prostat | Menggunakan gambar dari jaringan dan pemisahan regions of interest manual untuk nantinya di registrasi dan membentuk 3D Volume dan divisualisasi secara 3D dengan Matlab.                     | 3D reconstruction untuk ranah Histology termasuk kanker dan tumor.   | Matlab, X ray microtomography |
| 3   | Duška Kleut, et al     | 2006  | Otak    | Menampilkan melalui contoh yang tidak memungkinkan "masuk" secara virtual ke dalam struktur 3D, tetapi memungkinkan pemotongan volume yang diinginkan ke                                      | memungkinkan untuk mengamati lapisan jaringan yang ditampilkan dalam gambar pada tingkat piksel demi piksel dan dalam konteks struktur 3D tubuh manusia.   | Matlab dan MRI                |

|   |                                  |      |               |   |   |            |
|---|----------------------------------|------|---------------|---|---|------------|
|   |                                  |      |               | ukuran satu piksel gambar asli. Lapisan tomografi pada kedalaman yang sesuai kedalaman akan ditampilkan di kedua sisi yang dipilih paralelopiped.   |   |            |
| 4 | N. K. Kularathne, et al          | 2022 | Hati          | Sebuah algoritma yang dikembangkan untuk melakukan identifikasi tumor yang terperinci dan disederhanakan dalam hati manusia dengan menghasilkan file keluaran yang disempurnakan, dan model 3D. | Untuk mengembangkan algoritma pemrosesan citra MATLAB untuk menyederhanakan identifikasi tumor hati secara manual   | CT dan MRI |
| 5 | Cristina M. Morales Mojica et al | 2021 | Kepala        | Menggunakan Holographic Augmented Reality (HAR) Platform untuk memvisualisasikan AR dengan menggunakan data hasil MRI   | Memenuhi kebutuhan dalam perencanaan penanganan operasi yang memiliki kemampuan kecepatan akses data tinggi, manipulasi gambar dan objek secara interaktif, dan interaksi dengan front-end sistem se bisa mungkin tanpa menggunakan tangan. | MRI        |
| 6 | Sara Daniela et al               | 2021 | Ginjal        | Menggunakan metode processing medical images (DICOM) untuk segmentasi organ, rekonstruksi gambar 3D dan menyajikannya dalam VR.   | Menjawab kebutuhan akan visualisasi organ yang lebih realistik dan jelas untuk perencanaan operasi, interoperative navigation hingga simulasi operasi.  | Matlab     |
| 7 | Keith R Carney et al             | 2019 | Neural retina | Menggunakan LongAxis untuk memahami dasar molekuler organisasi sel dan jaringan di dalam cawan optik embrionik.   | Untuk analisis kuantitatif orientasi dan bentuk epithelial cell.  | Matlab     |
| 8 | Sandeep R Panta et al            | 2016 | Otak          | Menggunakan hasil perhitungan dari data phantom, pengukuran volumetrik dan pengukuran kepadatan grey matter dari semua voxel otak sebagai dasar visualisasi                                     | Menciptakan visualisasi data interaktif berbasis web untuk neuroimaging   | MRI        |

|    |                     |      |                     |  |   |                           |
|----|---------------------|------|---------------------|--|---|---------------------------|
| 9  | Arnauld Serge et al | 2015 | Lymphoid organs     | Menggunakan teknik sectioning organ dan pewarnaan, kemudian dilakukan image acquisition dengan automated scanner, dilanjut image registering dan 3D rendering dengan matlab.   | proses otomatis yang disebut Full Organ Reconstruction in 3D (For3D). Pipa pemrosesan gambar khusus diterapkan pada seluruh koleksi bagian serial berlabel imunolabel, yang diperoleh dengan mikroskop pemindaian slide untuk menguraikan topologi struktur limfoid yang kompleks | Matlab, Automated scanner |
| 10 | J. Jiménez et al.   | 2014 | Otak                | Platform web ( <a href="http://3dfd.ujaen.es">http://3dfd.ujaen.es</a> ) untuk menghitung dan menganalisis dimensi fraktal 3D (3DFD) dari data volumetrik dengan cara yang efisien, visual, dan interaktif.                      | Program untuk memperkirakan 3DFD dengan menghitung penghitungan kotak 3D dari seluruh volume otak, dan juga kerangka 3D-nya.  | MRI                       |
| 11 | M. Xia, J, et al    | 2013 | Otak                | Menggunakan MATLAB dengan graphical user interface (GUI), yang dikembangkan kotak alat visualisasi jaringan teoritis grafik, yang disebut BrainNet Viewer, untuk mengilustrasikan koneksi manusia sebagai model bola-dan-tongkat | untuk menyediakan platform visualisasi yang fleksibel dan cepat serta menghasilkan angka-angka untuk studi koneksi otak dengan cara yang ramah pengguna dan intuitif.   | MRI                       |
| 12 | B. He, et al        | 2011 | Otak                | toolbox berbasis MATLAB, eConnectome (elektrofisiologi connectome)   | Untuk memetakan dan mencitrakan koneksi fungsional pada tingkat kulit kepala dan kortikal dari electroencephalogram (EEG), serta dari elektrokortikogram (ECoG).  | MRI                       |
| 13 | J. McGhee           | 2010 | Kepala, Otak, Renal | Diinterpretasikan oleh desainer komputer 3-D dengan menggunakan alat bantu animator digital untuk menavigasi kompleksitas gambar dan memperluas interaksi  | Pendekatan desainer komputer 3-D untuk menciptakan citra tiga dimensi yang dihasilkan komputer (CGI) yang berasal dari data hasil pemindaian klinis.  | MRI                       |

|    |                     |      |           |  |  |            |
|----|---------------------|------|-----------|--|--|------------|
| 14 | D. Kleut, et al     | 2006 | Kepala    | Penggunaan MATLAB sebagai 3D visualisasi gambar tomografi 3D   | Untuk menunjukkan kemampuan rekonstruksi dengan menggunakan berbagai program perangkat lunak | MRI        |
| 15 | T. Heinonen, et al. | 1998 | Tengkorak | Mengimplementasikan Medimag yang dikembangkan menggunakan bahasa C dan dapat digunakan dalam rekonstruksi 3D dan visualisasi data berbasis voxel | Berfokus pada penampilan visualisasi tiga dimensi (3D) dari citra medis                      | CT dan MRI |

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Alat dan Bahan

Visualisasi 3D dari *brain image* modalitas *Magnetic Particle Imaging* (MRI) menggunakan kriteria hardware, software, dan dataset sebagai berikut.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan *3D Image Visualization*.

| No. | Kriteria        | Spesifikasi  |
|-----|-----------------|--|
| 1.  | <i>Hardware</i> | ASUS Vivobook 14 (A416JAO-VIPS526).<br>Intel Core i5-1035G1 Processor.<br>Intel NVIDIA Graphics.<br>4GB DDR4.<br>256GB M.2 NVME SSD. |
| 2.  | <i>Software</i> | Mathworks MATLAB R2021a ( <i>Image Processing Tools</i> );<br>Python Google Colab.   |
| 3.  | <i>Dataset</i>  | <i>Main data</i> : DICOM (.dcm) MRI;<br><i>Secondary data</i> : NIFTI (.nii) dan DICOM (.dcm)<br>CT-Scan.                            |

Penggunaan software MATLAB didukung dengan tools bawaan berupa *image processing tools* dan sebagai perbandingan hasil visualisasi digunakan bahasa pemrograman *python* melalui *google colab*. Dataset yang digunakan berupa data DICOM modalitas MRI dan sebagai perbandingan hasil visualisasi menggunakan dataset NIFTI data dan DICOM modalitas CT-Scan.

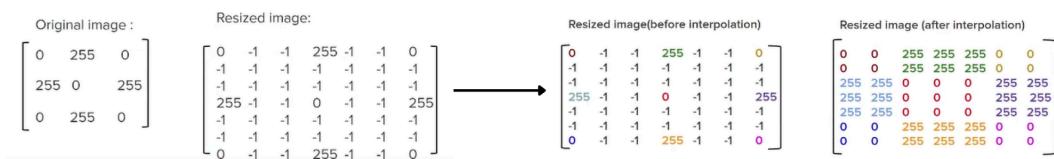
#### 3.2 Metode Digunakan

Metode yang digunakan dalam *project* ini tidak secara eksplisit digunakan karena untuk visualisasinya langsung melalui algoritma pemrograman MATLAB. Beberapa metode yang digunakan pada algoritmanya yaitu *nearest neighbor interpolation*, *isosurface method*, dan *marching cube/marching tetrahedral algorithm*. Dengan detail masing-masing algoritma sebagai berikut.

### 3.2.1 Nearest Neighbor Interpolation

Interpolasi merupakan metode estimasi data berdasarkan rentang diskrit dari data point yang diketahui. Metode ini akan menentukan pixel terdekat dari gambar dan mengasumsikan nilai intensitasnya sesuai dengan intensitas pixel terdekat yang diketahui. Interpolasi ini berfungsi untuk mengisi nilai kosong dalam data, menghaluskan data, dan memprediksi nilai data. Metode ini akan mengeliminasi kemungkinan nilai tidak diketahui atau dapat dikatakan *noise* pixel.

*Nearest neighbor interpolation* dapat dikategorikan sebagai *supervised learning classifier* yang menggunakan aproksimasi dari kelompok data individu. Fungsi interpolasi ini dalam MATLAB menggunakan “*imresize*.”



Gambar 3.1 Implementasi *Nearest Neighbor Interpolation*.

Metode ini digunakan untuk aplikasi *image resizing*. *Image resizing* merupakan proses perbesaran gambar tanpa mengubah jumlah dari pixel. Sederhananya, aplikasi metode *nearest neighbor interpolation* pada *project* ini digunakan untuk implementasi *shrinking, zooming, image rotation, dan geometric correction*.

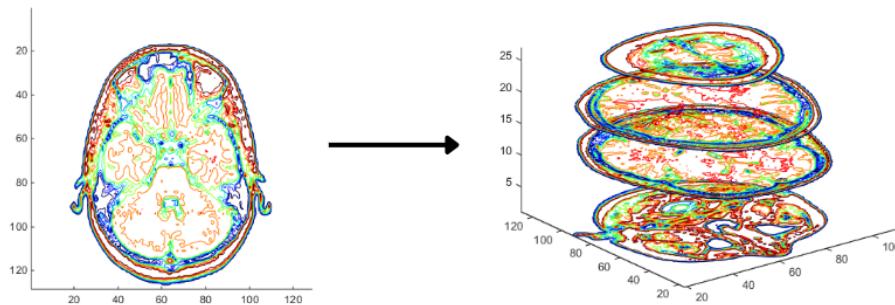


Gambar 3.2 Implementasi Interpolasi untuk *Image Resizing*.

### 3.2.2 Isosurface Method

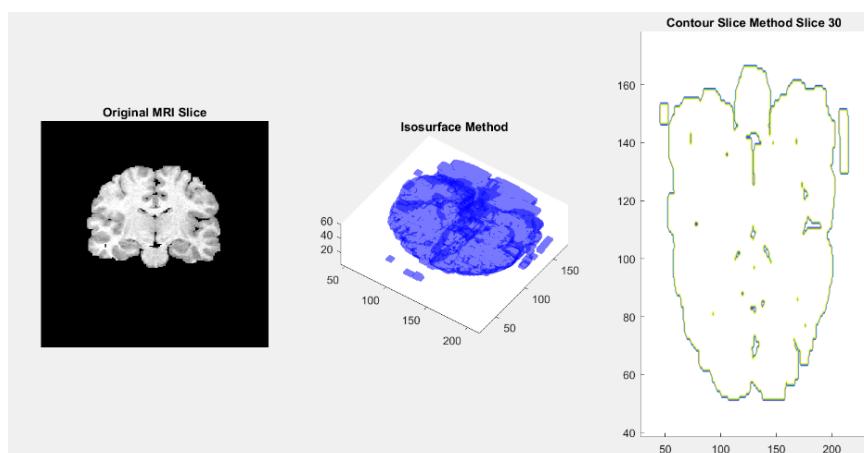
Metode *isosurface* merupakan metode yang digunakan untuk memvisualisasikan secara 3D dari sorotan area tertentu seperti dari titik nilai data yang setara atau lebih besar dari nilai tertentu menjadi satu permukaan. Melalui metode *isosurface* akan terbentuk permukaan dari titik data untuk divisualisasikan menjadi 3D oleh algoritma.

Pilihan metode ini dibandingkan dengan *contour slice method* dikarenakan metode *contour slice* hanya akan membentuk garis tepi dari titik saja dan tidak terbentuk permukaan antar titiknya. Sehingga ketika metode *contour slice* di *stack* tidak membentuk volume dari objek.



Gambar 3.3 Visualisasi dengan *Contour Slice Method*.

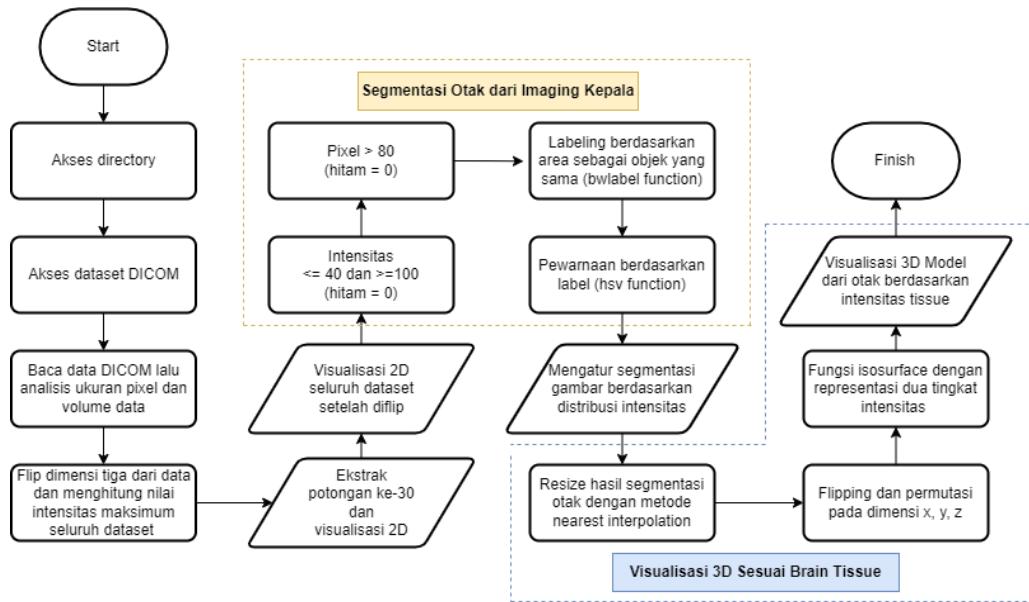
Proses implementasi *isosurface method* didalam MATLAB diakuisisi secara langsung dengan algoritma didalam *isosurface* itu sendiri. Melalui riset literatur, sebagian besar implementasi metode *isosurface* menggunakan algoritma *marching cube* atau *marching tetrahedral*. Algoritma ini berupa bentuk kubus atau tetrahedral yang akan bergerak *slice* atau *stack* membentuk visualisasi 3D dari gabungan permukaan dari titik data yang dibentuk oleh metode *isosurface*.



Gambar 3.4 Visualisasi dengan *Isosurface Method*.

### 3.3 Algoritma

Secara garis besar algoritma dalam *project* ini dibagi menjadi 4 proses yaitu akses dan membaca *directory*, menampilkan dataset, *tissue segmentation*, dan membentuk 3D visualisasi.



Gambar 3.5 *Flowchart* Algoritma Program MATLAB.

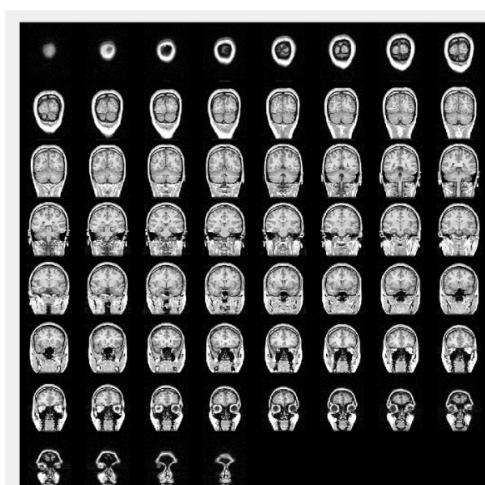
Pada proses pertama, algoritma didalamnya termasuk *main code*, *function code*, dan 60 data scan DICOM dari modalitas MRI. Kemudian data tersebut divalidasi untuk ukuran, volume, dan informasi lainnya. Setelah data input dianalisis kemudian sistem akan menampilkan informasi tersebut pada *command window*. Data scan yang sudah berhasil dibaca sistem ditampilkan dengan dibalik terlebih dahulu orientasi potongan gambar pada dimensi 3 nya. Lalu dataset diproses untuk menghasilkan gambar yang sesuai seperti mengatur kontras dan intensitas gambar.

Dataset berupa scan kepala kemudian disegmentasi dengan pengaturan intensitas tertentu menggunakan metode *nearest neighbor interpolation*. Ketentuan segmentasi dengan menentukan nilai min-max yaitu intensitas terlalu tinggi  $\geq 100$  atau terlalu rendah  $\leq 40$ . Selain itu untuk struktur dengan urutan pixel 80 terbawah difilter atau dihilangkan. Struktur gambar diluar dari otak seperti bagian leher dan kerangka kepala disegmentasikan menggunakan ketentuan tersebut. Hasil segmentasi dan filter berupa otak kemudian dipartisi berdasarkan lobus dari otak menyesuaikan bentuk dengan fungsi *bwlabel*. Selain itu sistem juga melakukan segmentasi terhadap jaringan otak

berupa *white-matter* dan *gray-matter*. segmentasi ini didasarkan dengan distribusi intensitas pada jaringan otak yang secara manual dapat diestimasikan oleh pengguna dengan cara di *slide*.

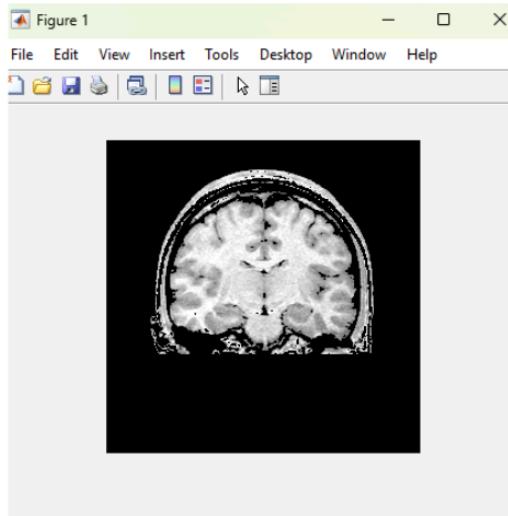
Setelah otak dan jaringan disegmentasi pada algoritmanya. Hasil segmentasi otak kemudian diresize kembali dengan metode *nearest neighbor interpolation*. Lalu sistem akan memproses visualisasi 3D menggunakan implementasi metode *isosurface* dan *marching algorithm*. Saat prosesnya gambar akan dibalik dan dilakukan permutasi pada dimensi tertentu sehingga diperoleh sumbu voxel yang sesuai.

### 3.4 Hasil Simulasi dan Pembahasan



Gambar 3.6 Penampilan Dataset MRI Kepala (60 Data, Frontal)

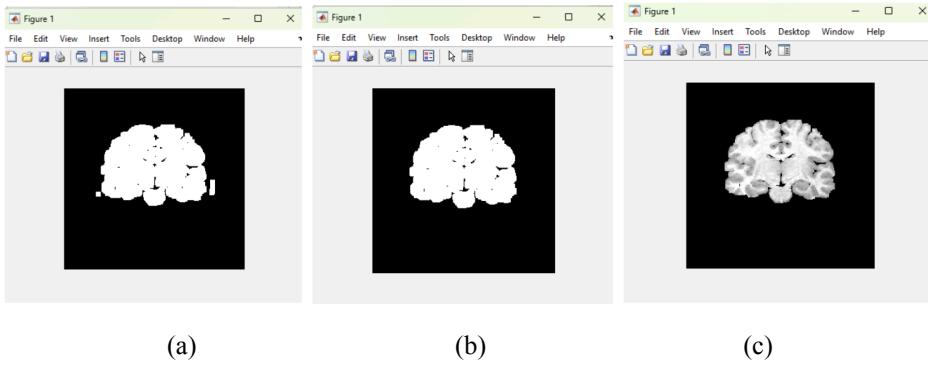
Program MATLAB ini dirancang untuk memungkinkan pengguna melakukan penyesuaian pada hasil visualisasi 3D dari dataset DICOM yang tersimpan di dalam komputer. Pengguna dapat berinteraksi dengan visualisasi tersebut melalui fungsi-fungsi yang dijalankan secara bertahap. Gambar 3.6 menunjukkan hasil tahap pertama program. Tahap pertama bekerja dengan membaca dataset DICOM dan menampilkan hasilnya dalam bentuk montase.



Gambar 3.7 Penampilan Data MRI Kepala ke 30 Tanpa Leher

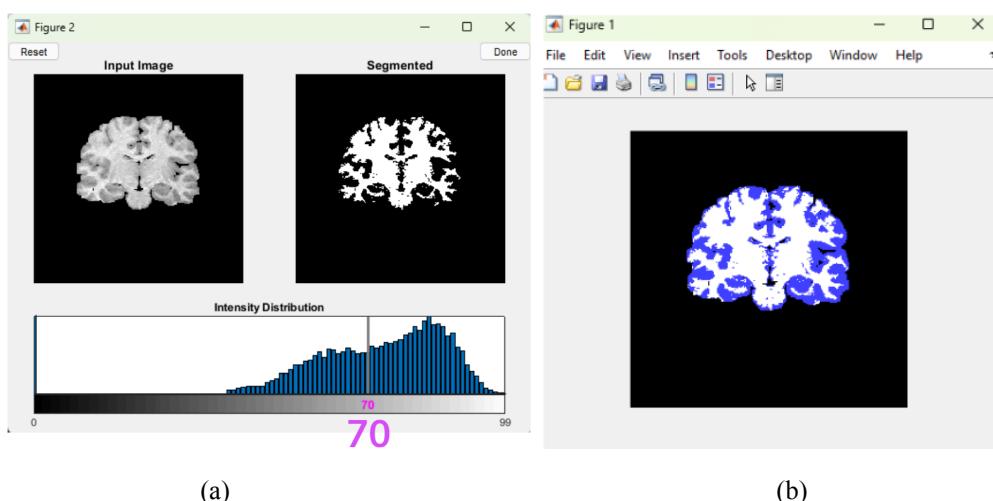
Selanjutnya program akan memilih data (slice) ke 30 untuk dianalisis. Data ke 30 dipilih karena data tersebut memiliki informasi paling menyeluruh. Melalui data ke 30, intensitas antara *hard tissue* (tengkorak) dan *soft tissue* (otak) dapat dianalisis dan dijadikan parameter untuk mensegmentasi otak dari tengkorak kepala (didapatkan rentang intensitas otak: 40 – 100). *Hard tissue* seperti tulang memiliki intensitas sinyal yang lebih tinggi pada gambar MRI dibandingkan dengan *soft tissue* seperti otak karena perbedaan dalam sifat-sifat magnetik dari jaringan tersebut. Pada umumnya, *hard tissue* memiliki lebih sedikit air dan lemak tetapi mengandung mineral seperti kalsium dan fosfor. Sifat magnetik dari mineral dalam tulang dapat menghasilkan sinyal yang tinggi pada gambar MRI. Di sisi lain, *soft tissue* seperti otak memiliki lebih banyak air, yang mengandung proton hidrogen. Sinyal dari proton hidrogen ini cenderung lebih rendah pada gambar MRI dibandingkan dengan sinyal dari mineral dalam tulang.

Dalam mempermudah proses segmentasi, data dengan nilai pixel di bawah 80 akan dihilangkan karena area ini (bagian leher) tidak mengandung otak (lihat Gambar 3.7). Setelah menerapkan filter parameter, otak berhasil tersegmentasi dari tengkorak. Namun, masih terdapat *soft tissue* lain yang menyebabkan gangguan visual (lihat Gambar 3.8 (a)), sehingga diperlukan tahap segmentasi lebih lanjut untuk memperoleh visualisasi otak yang lebih terisolasi secara visual.



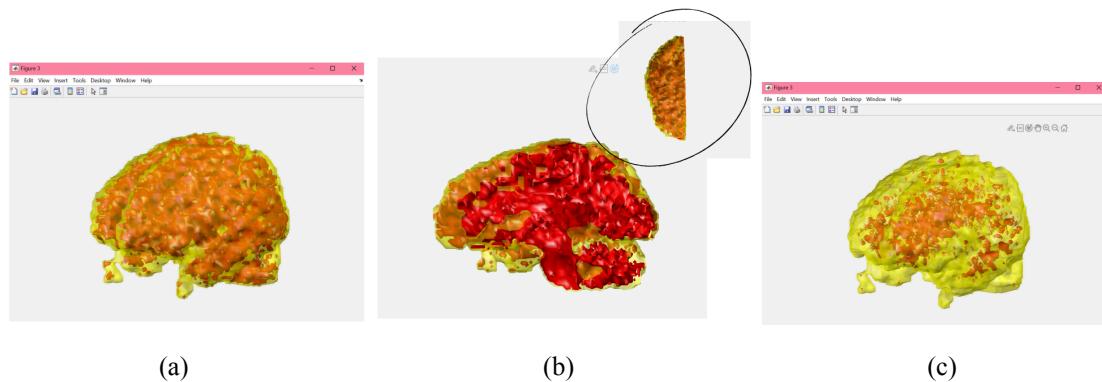
Gambar 3.8 Hasil Segmentasi Otak dari *Soft Tissue* Lainnya: (a) Data Kepala yang Sudah Tersegmentasi dengan Penyeragaman Kontras, (b) Hasil Identifikasi Blob, (c) Data Otak yang Telah Tersegmentasi Seluruhnya

Tahap berikutnya dalam proyek ini adalah mensegmentasi otak dari *soft tissue* lainnya. Otak dan *soft tissue* lainnya memiliki rentang intensitas yang relatif serupa sehingga penerapan filter parameter menjadi sulit. Oleh karena itu, digunakan pendekatan identifikasi blob. Identifikasi blob bertujuan untuk menyamaratakan intensitas pada data dan mendeteksinya sebagai kumpulan-kumpulan blob, seperti yang terlihat pada Gambar 3.8 (a). Dalam konteks ini, blob yang memiliki ukuran terbesar akan dipilih, mengindikasikan area yang mewakili otak. Blob-blob kecil yang mungkin muncul pada data dihilangkan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.8 (b). Hasil identifikasi blob ini kemudian dijadikan referensi dan diterapkan ke seluruh dataset lainnya untuk memastikan bahwa hanya data otak yang diisolasi, sebagaimana terlihat pada Gambar 3.8 (c).



Gambar 3.9 Tampilan Segmentasi *White Matter* dan *Gray Matter*: (a) Pemilihan Manual Batas Intensitas *Gray Matter* dan *White Matter* (b) Hasil Identifikasi *White Matter* dan *Gray Matter*

Pada Gambar 3.9 (a), terlihat pemilihan manual batas intensitas untuk memisahkan antara *gray matter* dan *white matter* dalam citra MRI. Pemilihan batas ini dilakukan secara manual karena citra MRI menghasilkan intensitas yang bervariasi sehingga memerlukan penyesuaian individual untuk mencapai segmentasi yang optimal. Standar dalam pemilihan batas ini adalah di lembah antara puncak pertama (yang mewakili *gray-matter*) dan puncak kedua (yang mewakili *white-matter*), sesuai dengan pedoman literatur. Pemilihan ini bertujuan untuk memisahkan *white matter* dari jaringan otak lainnya dan mengidentifikasinya secara tepat. Gambar 3.9 (b) menunjukkan *white-matter* yang telah tersegmentasi, yang kemudian dapat dijadikan sebagai referensi untuk membedakan *white-matter* dan *gray-matter* pada dataset lainnya. Pendekatan ini memungkinkan peningkatan konsistensi dalam segmentasi berdasarkan pemilihan batas intensitas yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.10 Tampilan Hasil Akhir Visualisasi 3D Otak: (a) Visualiasi 3D Otak, (ii) Penampakan Otak Bagian Dalam, (c) Contoh Visualisasi 3D Otak dengan Batas Intensitas 90

Hasil visualisasi akhir diperoleh melalui penerapan *isosurface* dan interpolasi untuk membentuk representasi tiga dimensi (3D) dari otak. Pada representasi ini, *white-matter* ditampilkan dalam warna merah padat, sementara *gray-matter* ditampilkan dalam warna kuning transparan sehingga dapat diidentifikasi dengan jelas (lihat Gambar 3.10 (a)). Apabila membutuhkan perspektif potongan dalam otak, pengguna dapat memindahkan posisi bentuk 3D dengan kurSOR sehingga memungkinkan pengamatan bagian dalam otak secara lebih rinci (lihat Gambar 3.10 (b)). Gambar 3.10 (c) menggambarkan situasi di mana pengguna mungkin salah memilih batas intensitas untuk proses segmentasi. Dalam kasus ini, sebagian besar *white-matter* yang tervisualisasi menjadi terbatas. Perlu diperhatikan bahwa kesalahan pengguna dalam

menentukan batas intensitas dapat signifikan mempengaruhi hasil segmentasi dan hal ini dapat diperbaiki dengan penyesuaian parameter yang lebih tepat.

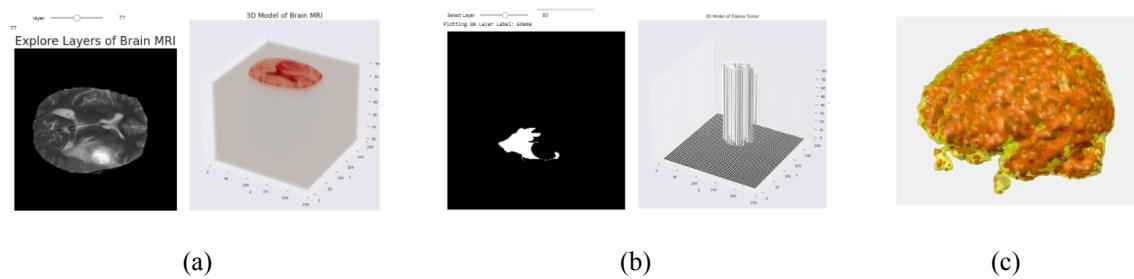
### 3.5 Perbandingan

Berdasarkan hasil simulasi program diatas, dilakukan analisis perbandingan untuk membuktikan efektivitas program dalam memvisualisasikan data *imaging* berupa data DICOM dari modalitas MRI. Pertama, perbandingan dilakukan antara 3D visualisasi menggunakan Phyton dan MATLAB.

Tabel 3.2 Perbandingan Hasil dan *Repository*.

| Kriteria             | Phyton ( <i>Brain</i> )     | Phyton ( <i>Brain Tumor</i> ) | MATLAB ( <i>Brain</i> )  |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Jenis Dataset        | NIFTI (.nii) images         | NIFTI (.nii) images           | DICOM (.dcm) images      |
| Jumlah <i>Images</i> | 60 scans                    | 60 scans                      | 60 scans                 |
| Segmentasi           | <i>Without segmentation</i> | <i>With segmentation</i>      | <i>With segmentation</i> |
| Waktu <i>Running</i> | 09:16.46                    | 01:37.49                      | 00:06.92                 |

Berdasarkan tabel diatas, visualisasi yang dirancang pada *project* ini berhasil menghasilkan waktu *running* yang relatif lebih pendek dibandingkan visualisasi lainnya. Output dari masing-masing program diatas adalah sebagai berikut.

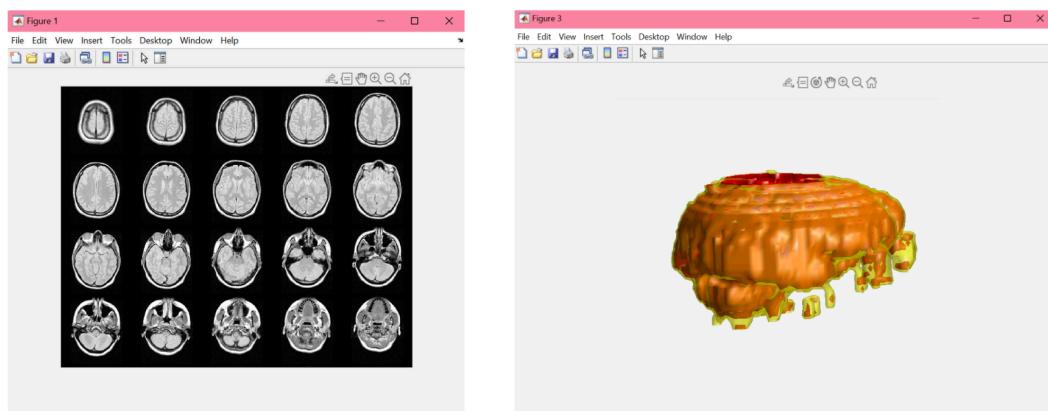


Gambar 3.11 Perbandingan Hasil Visualiasi 3D: (a) Visualisasi Otak Modalitas MRI Menggunakan Phyton, (b) Visualisasi Tumor Otak Modalitas MRI Menggunakan Phyton, (c) Visualisasi Otak Modalitas MRI Menggunakan MATLAB.

Pada hasil diatas, visualisasi otak menggunakan phyton tidak disegmentasikan terlebih dahulu dan hasil 3D hanya berupa *stack* dari beberapa data. Sedangkan pada *brain tumor* sudah disegmentasikan kemudian di *stack* dari hasil segmentasi. Pada

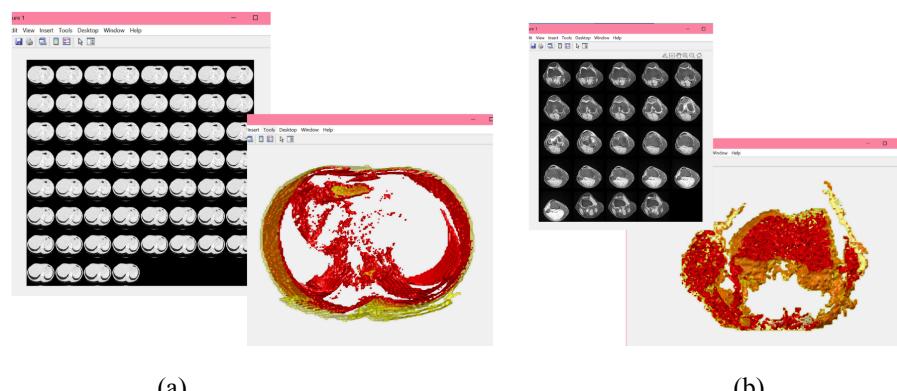
Gambar 3.11 (c) merupakan yang dikerjakan pada *project* ini, terlihat bahwa visualisasi 3D nya menghasilkan output yang paling baik dari segi segmentasi dan visualisasi diantara lainnya dengan waktu yang juga paling cepat.

Selain itu dengan program MATLAB yang sama diujikan terhadap dataset lainnya. Salah satu dataset yang digunakan berupa data DICOM dari MRI kepala sebanyak 20 data.



Gambar 3.12. Uji Dataset Lain dari Otak Modalitas MRI (20 Data).

Hasil dari visualisasi dataset lain terhadap visualisasi otak kurang lebih mirip dengan dataset sebelumnya. Dengan algoritma program yang sama dan data yang lebih sedikit, berhasil memvisualisasikan otak. Meskipun terlihat bahwa hasil yang kurang sempurna dibagian atas otak dikarenakan data yang kurang memadai. Representasi dari *white-matter* dan *gray-matter* juga terlihat tervisualisasi dengan baik. Selain dari dataset tersebut, program ini juga diuji untuk diimplementasikan pada organ lain selain dari otak yaitu pada *lung* dan *right knee*.



Gambar 3.13 Uji Dataset Lain: (a) DICOM CT-Scan untuk *Lung* (60 Data).

(b) DICOM MRI untuk *Right Knee* (24 Data).

Pada hasil uji program terhadap dataset lain, terdapat kekurangan hasil visualisasi dikarenakan keterbatasan orientasi algoritma hanya bisa visualisasi berupa *images* potongan frontal (depan-ke-belakang). Pada dua dataset diatas orientasi *images* berupa potongan transversal (atas-ke-bawah) sehingga segmentasi tidak bekerja secara sempurna. Terlihat data yang digunakan memiliki *images* yang relatif mirip sehingga cukup sulit untuk disegmentasi oleh sistem. Selain itu parameter untuk intensitas yang difilter juga perlu diatur menyesuaikan dari organ, jaringan, dan modalitas yang berbeda. Jaringan *gray-matter* dan *white-matter* hanya dapat diimplementasikan pada otak, sehingga jika program digunakan untuk visualisasi organ lain perlu ada spesifikasi khusus terkait jaringan berkaitan. Namun demikian, meskipun 3D visualisasi yang dihasilkan tidak sempurna, algoritma program dapat diterapkan untuk gambaran kasar dari organ selain otak.

## BAB IV

### PENUTUP

#### 4.1. Kesimpulan

Proyek ini berhasil mengembangkan sebuah algoritma program berbasis MATLAB yang memiliki kemampuan untuk mensegmentasi otak berbagai jenis *tissue* di kepala, terutama fokus pada otak dan jaringan otak seperti *gray matter* dan *white matter*. Keberhasilan segmentasi tersebut didukung oleh visualisasi 3D model yang dapat disesuaikan dengan parameter distribusi intensitas yang ditentukan oleh pengguna. Kecepatan waktu komputasi yang dicapai, sekitar 6.92 detik, menunjukkan efisiensi dalam eksekusi algoritma. Meskipun demikian, proyek ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti keterbatasan orientasi data imaging hanya pada tipe Anterior-Posterior, dan kemampuan visualisasi yang optimal hanya pada format DICOM MRI. Selain itu, segmentasi untuk organ lain mungkin tidak optimal karena perbedaan dalam jenis *tissue*.

#### 4.2. Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat peneliti ajukan untuk pengembangan penelitian kedepannya berdasarkan pada apa yang telah dilakukan pada penelitian ini. Pengembangan yang memiliki potensi besar adalah pengaplikasian *machine learning*. Pada proses segmentasi, penentuan threshold masih dilakukan secara manual pada penelitian ini. Dengan adanya machine learning memungkinkan proses segmentasi menjadi lebih baik. Segmentasi dengan pengaplikasian machine learning juga dapat memungkinkan sistem untuk membentuk segmentasi bagian lainnya pada otak. Ini juga memungkinkan adanya pengembangan untuk membentuk visualisasi anatomi otak lainnya selain white matter dan grey matter.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] A. Fajar, R. Sarno, C. Fatichah, and A. Fahmi, “Reconstructing and resizing 3D images from DICOM files,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 6, pp. 3517–3526, 2022.
- [2] A. Sergé, A.-L. Bailly, M. Aurrand-Lions, B. A. Imhof, and M. Irla, “For3D: Full Organ Reconstruction in 3D, an automatized tool for deciphering the complexity of lymphoid organs,” *Journal of Immunological Methods*, vol. 424, pp. 32–42, 2015. doi:10.1016/j.jim.2015.04.019
- [3] B. He, Y. Dai, L. Astolfi, F. Babiloni, H. Yuan, and L. Yang, “eConnectome: A MATLAB toolbox for mapping and imaging of brain functional connectivity,” *J. Neurosci. Methods*, vol. 195, no. 2, pp. 261–269, 2011.
- [4] D. Kleut, M. Jovanovic, and B. Reljin D., “3D visualisation of MRI images using MATLAB,” *J. Autom. Contr.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–3, 2006.
- [5] E. Birngruber, R. Donner, and G. Langs, “MatVTK - 3D Visualization for Matlab,” *The MIDAS Journal*, 2009.
- [6] F. Leroy et al., “Atlas-free surface reconstruction of the cortical grey-white interface in infants,” *PLoS One*, vol. 6, no. 11, p. e27128, 2011.
- [7] J. Jiménez et al., “A Web platform for the interactive visualization and analysis of the 3D fractal dimension of MRI data,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 51, pp. 176–190, 2014.
- [8] J. McGhee, “3-D visualization and animation technologies in anatomical imaging,” *J. Anat.*, vol. 216, no. 2, pp. 264–270, 2010.
- [9] K. Eykholt and M. F. Duarte, “A Matlab toolbox for visualization of image manifolds,” in *2013 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing*, 2013.
- [10] K. R. Carney, C. D. Bryan, H. B. Gordon, and K. M. Kwan, “Longaxis: A MATLAB-based program for 3D quantitative analysis of epithelial cell shape and orientation,” *Developmental Biology*, vol. 458, no. 1, pp. 1–11, 2020. doi:10.1016/j.ydbio.2019.09.016
- [11] K. Zhang and T. J. Sejnowski, “A universal scaling law between gray matter and white matter of cerebral cortex,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 97, no. 10, pp. 5621–5626, 2000.

- [12] L. Zhou, M. Fan, C. Hansen, C. R. Johnson, and D. Weiskopf, “A review of three-dimensional medical image visualization,” *Health Data Sci.*, vol. 2022, pp. 1–19, 2022.
- [13] M. Xia, J. Wang, and Y. He, “BrainNet Viewer: a network visualization tool for human brain connectomics,” *PLoS One*, vol. 8, no. 7, p. e68910, 2013.
- [14] N. K. Kularathne, K. V. Athula Wije Kumara, K. K. D. L. Ruvinda, and C. H. Manathunga, “Liver tumor identification GUI using MATLAB image processing,” in 2022 2nd International Conference on Advanced Research in Computing (ICARC), 2022.
- [15] P. Ruusuvuori et al., “Spatial analysis of histology in 3D: Quantification and visualization of organ and tumor level tissue environment,” *Heliyon*, vol. 8, no. 1, 2022. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e08762
- [16] S. D. Galeano Galeano, M. Esteban Mora Gonzalez, and R. A. Espinosa Medina, “3D reconstruction of organ from CT images and visualization in a virtual reality environment,” 2021 IEEE Colombian Conference on Applications of Computational Intelligence (ColCACI), 2021. doi:10.1109/colcaci52978.2021.9469549
- [17] S. R. Panta et al., “A tool for interactive data visualization: Application to over 10,000 brain imaging and Phantom MRI data sets,” *Frontiers in Neuroinformatics*, vol. 10, 2016. doi:10.3389/fninf.2016.00009
- [18] T. Heinonen, K. Visala, M. Blomqvist, H. Eskola, and H. Frey, “3D visualization library for multimodal medical images,” *Comput. Med. Imaging Graph.*, vol. 22, no. 4, pp. 267–273, 1998.
- [19] V. P. B. Grover et al., “Magnetic Resonance Imaging: Principles and techniques: Lessons for clinicians,” *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*, vol. 5, no. 3, pp. 246–255, 2015. doi:10.1016/j.jceh.2015.08.001
- [20] Z. Spiclin, A. Hans, F. H. Duffy, S. K. Warfield, B. Likar, and F. Pernus, “EEG to MRI registration based on global and local similarities of MRI intensity distributions,” *Med. Image Comput. Comput. Assist. Interv.*, vol. 11, no. Pt 1, pp. 762–770, 2008.

**Lampiran 1****KODE UTAMA MATLAB**

```

1 % Start and access data file directory
2 - clear all; close all; clc; imtool close all;
3
4 - fileFolder = fullfile(pwd, 'data_dicom');
5 - files = dir(fullfile(fileFolder, '*.dcm'));
6 - fileNames = 1:60;
7
8 % Examine file header (metadata, from DICOM stack)
9 - info = dicominfo(fullfile(fileFolder, num2str(fileNames(1))));
10
11 voxel_size = [info.PixelSpacing; info.SliceThickness];
12 I = dicomread(fullfile(fileFolder, num2str(fileNames(1))));
13 classI = class(I);
14 sizeI = size(I);
15 numImages = length(fileNames);
16
17 % Read DICOM images
18 hWaitBar = waitbar(0,'Reading DICOM files');
19
20 % Array
21 mri = zeros(sizeI(1), sizeI(2), numImages, classI);
22
23 for i=length(fileNames):-1:1
24     fname = fullfile(fileFolder, num2str(fileNames(i)));
25     mri(:,:,:,i) = uint16(dicomread(fname));
26
27     waitbar((length(fileNames)-i+1)/length(fileNames))
28 end
29
30 delete(hWaitBar)
31 whos mri
32
33 % Explore image data using Image Viewer GUI tool
34 mri = flipdim(mri,3);
35 im = mri(:,:,:30);
36 max_level = double(max(mri(:)));
37 imt = imtool(im,[0 max_level]);
38

```

```

39 %% Explore dataset
40 imtool close all
41 minMRI = min(mri(:));
42 maxMRI = max(mri(:));
43 montage(reshape(uint16(mri), [size(mri,1), size(mri,2), 1, size(mri,3)]));
44 set(gca,'clim', [0,100]);
45
46 %% Isolate and display brain mass
47 mriTemp = mri(:,:,30);
48
49 mriTemp(mriTemp <= 40) = 0;
50 mriTemp(mriTemp >= 100) = 0;
51 mriTemp(end-80:end,:) = 0;
52
53 imA = imadjust(mriTemp);
54 imshow(imA);
55
56 %% Segment brain tissue
57 mriAdjust = mri;
58 mriAdjust(mriAdjust <= 40) = 0;
59 mriAdjust(mriAdjust >= 100) = 0;
60 mriAdjust(end-80:end,:,:,:) = 0;
61
62 % convert black and white
63 bw = mriAdjust > 0;
64 nhood = ones([7 7 3]);
65
66 % morphological
67 bw = imopen(bw,nhood);
68 imshow(bw(:,:,30));
69
70 %% Identify for single frame
71 % Find Blobs
72 L = bwlabeln(bw);
73 stats = regionprops(L, 'Area','Centroid');
74
75 LL = L(:,:,:,30) + 1;
76 cmap = hsv(length(stats));
77 cmap = [0 0 0;cmap];
78 LL = cmap(LL,:,:);
79 LL = reshape(LL,[sizeI,3]);
80 imshow(LL);
81
82 % Largest Blob
83 A = [stats.Area];
84 biggest = find(A == max(A));
85 mriAdjust(L ~= biggest) = 0;
86
87 imA = imadjust (mriAdjust(:,:,:,30));
88 imshow(imA);
89
90 %% Partition brain mass
91 level = thresh_tool(uint16(mriAdjust(:,:,:,30)), 'gray');
92 mriBrainPartition = uint8(zeros(size(mriAdjust)));
93 mriBrainPartition(mriAdjust<level & mriAdjust>0) = 2;
94 mriBrainPartition(mriAdjust>=level) = 3;
95
96 imshow(mriBrainPartition(:,:,:,30),[0 0 0;0 0 .25 .25 1;1 1 1])
97

```

```
98 %% Create 3D Display
99 - tmp = text(128,200,'RENDERING 3D: Please Wait','color','r','fontsize',14,...
100 -     'horizontalalignment','center');
101
102 - Ds = imresize(mriBrainPartition,0.25,'nearest');
103
104 - Ds = flipdim(Ds,1);
105 - Ds = flipdim(Ds,2);
106 - Ds = permute(Ds,[3 2 1]);
107 - voxel_size2 = voxel_size([1 3 2]).*[4 1 4];
108
109 - white_vol = isosurface(Ds,2.5);
110 - gray_vol = isosurface(Ds,1.5);
111
112 - h = figure('visible','off','outerposition',[0 0 800 600]);
113 - patch(white_vol,'FaceColor','r','EdgeColor','none');
114 - patch(gray_vol,'FaceColor','y','EdgeColor','none',...
115 -     'FaceAlpha',0.5);
116
117 - view(45,15);
118 - daspect(1./voxel_size2);
119 - axis tight;
120 - axis off;
121 - camlight;
122 - camlight(-80,-10);
123 - lighting phong;
124 - delete(tmp);
125
126 - movegui(h,'center');
127 - set(h,'visible','on');
```