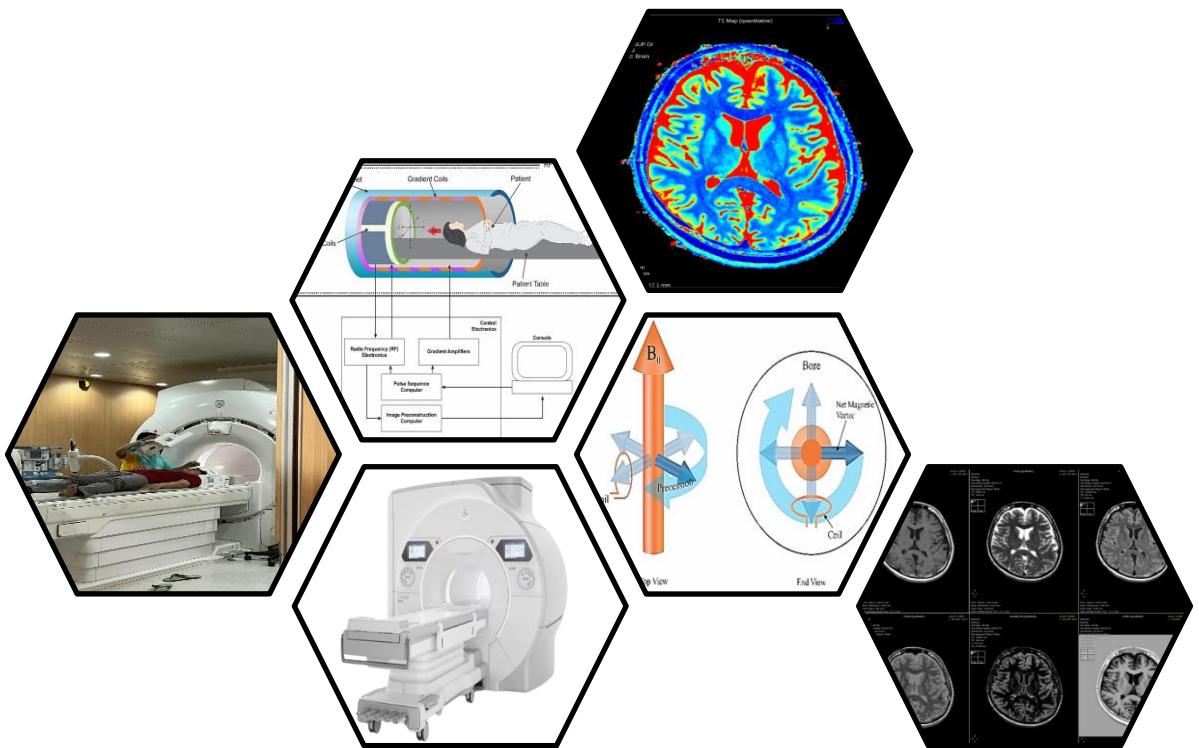


# Analisis Kuantitatif Waktu Relaksasi Pemeriksaan Otak Menggunakan Metode *Magnetic Resonance Image Compilation* (MAGIC) pada Sistem MRI 3 Tesla

## Quantitative Analysis of Brain Examination Relaxation Time Using Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC) Method on 3 Tesla MRI System



ARFINNA  
H032222003



PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024

**Analisis Kuantitatif Waktu Relaksasi Pemeriksaan Otak Menggunakan  
Metode *Magnetic Resonance Image Compilation* (MAGIC) pada Sistem  
MRI 3 Tesla**

**ARFINNA  
H032222003**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**Quantitative Analysis of Brain Examination Relaxation Time Using  
Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC) Method on 3 Tesla  
MRI System**

**ARFINNA  
H032222003**



**STUDY PROGRAM MASTER OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
HASANUDDIN UNIVERSITY  
MAKASSAR  
2024**

**Analisis Kuantitatif Waktu Relaksasi Pemeriksaan Otak Menggunakan  
Metode *Magnetic Resonance Image Compilation* (MAGIC) pada Sistem  
MRI 3 Tesla**

Tesis  
sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Fisika

Disusun dan diajukan oleh

ARFINNA  
H032222003

kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

**ANALISIS KUANTITATIF WAKTU RELAKSASI PEMERIKSAAN  
OTAK MENGGUNAKAN METODE *MAGNETIC RESONANCE IMAGE  
COMPILATION (MAGIC)* PADA SISTEM MRI 3 TESLA**

Disusun dan Diajukan oleh

**ARFINNA**

**H032222003**

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Ujian yang Dibentuk dalam Rangka Penyelesaian Studi pada Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada Tahun 2024


Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Kelulusan

Menyetujui

Penasehat Utama,

Penasehat Pendamping,

  
Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc  
NIP. 19630111 199002 1 001

  
Prof. Dr. Dualkar Abdullah, M.Eng.Sc  
NIP. 19550105 197802 1 001

Ketua Program Studi,

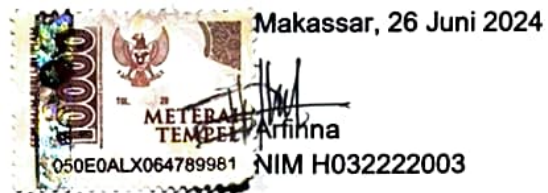
  
Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.  
NIP. 19630830 198903 2 001



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Analisis Kuantitatif Waktu Relaksasi Pemeriksaan Otak Menggunakan Metode *Magnetic Resonance Image Compilation* (MAGIC) pada Sistem MRI 3 Tesla" adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing (Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan America International Proceedings (AIP) dengan judul Quantitative Analysis of Brain Examination Using Magnetic Resonance Imaging Compilation (MAGIC) Method at 3 Tesla MRI System. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.


Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.



## Ucapan Terima Kasih

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc sebagai Pembimbing Utama, Prof. Dr. Bualkar Abdullah sebagai Pembimbing Pendamping, Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT, Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc dan Dr. Sri Dewi Astuty, M.Si sebagai Penguji. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada dosen-dosen saya. Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Bapak Purwanto, A.Md.Rad., M.Si, M.Kes, yang telah mengizinkan kami untuk melaksanakan penelitian di RSUD Wahidin Sudirohusodo Makassar.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin dan Program Studi Magister Fisika Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan seperjuangan dalam perkuliahan (Atika, Rifqah, Nur Aulia dan Fahira). Akhirnya, kepada kedua orang tua tercinta saya mengucapkan limpah terima kasih atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada seluruh keluarga (Ulva Suryana, Muhammad Afdhal, Fadillah dan Muhammad Azhar) serta keponakan-keponakanku Ayyi, Ichi, Nathan, Shanum, Attar, Echa dan Ikki) atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai. Ucapan terima kasih juga kepada Wahyudin Husain yang telah banyak membantu saya secara materi dan moril selama penyusunan tesis ini. Serta kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya, penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dan semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya dalam setiap amal kebaikan dan diberikan balasan. Amin Yaa Rabbal Alamin.

Penulis  
  
Arfinna

## ABSTRAK

ARFINNA. **Analisis Kuantitatif Waktu Relaksasi Pemeriksaan Otak Menggunakan Metode *Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC)* pada Sistem MRI 3 Tesla** (dibimbing oleh Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc dan Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc)

Waktu relaksasi pada pemeriksaan MRI mengacu pada waktu yang dibutuhkan oleh proton di dalam komponen jaringan otak untuk kembali ke keadaan keseimbangan setelah diberi sinyal radiofrekuensi pada suatu medan magnet eksternal. Waktu relaksasi dapat menjadi pendukung diagnosis secara kuantitatif dalam memahami struktur, fungsi maupun lesi pada otak manusia. Penelitian ini menggunakan metode pemeriksaan MRI terbaru yang disebut sebagai *Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC)* pada sistem MRI 3 Tesla dan bertujuan untuk menganalisis secara kuantitatif waktu relaksasi T1 dan T2 pada komponen penting jaringan otak sehat, meliputi *white matter*, *grey matter* dan cairan serebrospinal berdasarkan usia dan jenis kelamin manusia. Penelitian ini melibatkan 36 *volunteer* sebagai sampel data yang terdiri dari 16 laki-laki dan 20 perempuan dengan rentang usia 17 – 43 tahun. Parameter pemeriksaan MRI menggunakan TE sebesar 20 ms, TR sebesar 4000 ms, FOV 28 × 28 cm dan *scanning time* selama empat menit. Hasil pemeriksaan diolah menggunakan *Software Synthetic MAGIC* dan dianalisis menggunakan OriginPro 9.0 64Bit dan Microsoft Excel 2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode MAGIC mampu menghasilkan estimasi waktu relaksasi T1 dan T2 yang sesuai dengan waktu relaksasi dari setiap komponen jaringan otak dengan waktu pemeriksaan yang efisien dengan kemampuan magnetisasi longitudinal dan transversal yang berada di atas standar minimal magnetisasi (63% untuk magnetisasi longitudinal dan 37% untuk magnetisasi transversal) memungkinkan identifikasi patologi otak dengan lebih baik. Dengan demikian, penelitian menggunakan metode MAGIC ini dapat dijadikan data *baseline* penegakan klinis otak maupun penelitian lanjutan di bidang MRI diagnostik.

Kata Kunci: waktu relaksasi, MAGIC, MRI, magnetisasi, komponen jaringan otak



## ABSTRACT

**ARFINNA. Quantitative Analysis of Brain Examination Relaxation Time Using Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC) Method on 3 Tesla MRI System** (dibimbing oleh Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc dan Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc)

The relaxation time in MRI examination refers to the time required by protons within the components of the brain tissue to return to equilibrium state after being subjected to radiofrequency signals in an external magnetic field. Relaxation time can serve as a quantitative diagnostic support in understanding the structure, function, and lesions in the human brain. This study utilizes the latest MRI examination method called Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC) on a 3 Tesla MRI system and aims to quantitatively analyze T1 and T2 relaxation times in important components of healthy brain tissue, including white matter, grey matter, and cerebrospinal fluid based on age and gender. The study involved 36 volunteers as data samples consisting of 16 males and 20 females aged 17 to 43 years. MRI examination parameters used a TE of 20 ms, TR of 4000 ms, FOV of 28 × 28 cm, and scanning time of 4 minutes. The examination results were processed using Synthetic MAGIC Software and analyzed using OriginPro 9.0 64Bit and Microsoft Excel 2016. The research findings indicate that the MAGIC method is capable of producing T1 and T2 relaxation time estimates consistent with the relaxation time of each brain tissue component with efficient examination time. The ability of longitudinal and transverse magnetization to exceed the minimum magnetization standard (63% for longitudinal magnetization and 37% for transverse magnetization) enables better identification of brain pathologies. Thus, research using the MAGIC method can serve as baseline data for clinical brain diagnosis and further research in the field of diagnostic MRI.

Keywords: relaxation time, MAGIC, MRI, magnetization, brain tissue components

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	iv
TESIS .....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	vi
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA .....	vi
Ucapan Terima Kasih .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<i>CURRICULUM VITAE</i> .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat .....	3
BAB II METODE PENELITIAN.....	4
2.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	4
2.2 Bahan dan Alat .....	4
2.3 Metode Penelitian .....	5
2.4 Prosedur Penelitian.....	5
2.4.1 Persiapan Sebelum Pemeriksaan.....	5
2.4.2 Protokol Pengolahan Data Secara Kualitatif .....	6
2.4.3 Protokol Pengolahan Data secara Kuantitatif.....	7
2.5 Parameter Pengamatan .....	8
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN .....	9
3.1 Hasil T1 <i>mapping</i> Jaringan Otak.....	9
3.2 Analisis Nilai Waktu Relaksasi T1 dan T2 Jaringan Otak .....	10
3.2.1 Cairan Serebrospinal .....	12
3.2.2 Materi Putih.....	15
3.2.3 Materi Abu-abu .....	19
3.3 Magnetisasi Longitudinal Komponen Jaringan Otak .....	23
3.4 Magnetisasi Transversal Komponen Jaringan Otak.....	30
BAB IV KESIMPULAN .....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN .....	61

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Jumlah Populasi .....	4
Tabel 2. Objek Penelitian berdasarkan Jenis Kelamin.....	4
Tabel 3. Beberapa nilai T1 dan T2 pada komponen jaringan otak.....	11

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. MRI 3 Tesla.....	4
Gambar 2. Proses pemeriksaan MRI setiap volunteer.....	5
Gambar 3. Protokol pengolahan data secara kualitatif .....	6
Gambar 4. Struktur otak manusia .....	7
Gambar 5. Bagan Alir Penelitian.....	8
Gambar 6. Rekonstruksi citra pada enam sequence menggunakan metode MAGIC pada MRI 3 Tesla .....	10
Gambar 7. Kontras pada citra jaringan otak .....	10
Gambar 8. (a) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi longitudinal T1 (ms) pada komponen cairan serebrospinal laki-laki.....	12
Gambar 8. (b) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi longitudinal T1 (ms) pada komponen cairan serebrospinal perempuan.....	13
Gambar 9. (a) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi transversal T2 (ms) pada komponen cairan serebrospinal laki-laki.....	13
Gambar 9. (b) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi transversal T2 (ms) pada komponen cairan serebrospinal perempuan.....	14
Gambar 10. (a) Hubungan antara jenis kelamin terhadap waktu relaksasi T1 pada komponen cairan serebrospinal.....	14
Gambar 10. (b) Hubungan antara jenis kelamin terhadap waktu relaksasi T2 pada komponen cairan serebrospinal.....	15
Gambar 11. (a) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi longitudinal T1 (ms) pada komponen materi putih ( <i>white matter</i> ) perempuan.....	16
Gambar 11. (b) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi longitudinal T1 (ms) pada komponen materi putih ( <i>white matter</i> ) laki-laki.....	17
Gambar 12. (a) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi transversal T2 (ms) pada komponen materi putih ( <i>white matter</i> ) perempuan.....	17
Gambar 12. (b) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi transversal T2 (ms) pada komponen materi putih ( <i>white matter</i> ) laki-laki.....	18
Gambar 13. (a) Hubungan antara jenis kelamin terhadap waktu relaksasi T1 pada komponen materi putih ( <i>white matter</i> ) .....	19
Gambar 13. (b) Hubungan antara jenis kelamin terhadap waktu relaksasi T2 pada komponen materi putih ( <i>white matter</i> ).....	20
Gambar 14. (a) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi longitudinal T1 (ms) pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ) laki-laki.....	21
Gambar 14. (b) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi longitudinal T1 (ms) pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ) perempuan.....	22
Gambar 15. (a) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi transversal T2 (ms) pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ) laki-laki.....	22
Gambar 15. (b) Pengaruh usia terhadap waktu relaksasi transversal T2 (ms) pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ) perempuan.....	23
Gambar 16. (a) Hubungan antara jenis kelamin terhadap waktu relaksasi T1 pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ).....	24
Gambar 16. (b) Hubungan antara jenis kelamin terhadap waktu relaksasi T2 pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ).....	24
Gambar 17. (a) Magnetisasi longitudinal berdasarkan usia laki-laki pada komponen otak materi putih ( <i>white matter</i> ).....	26
Gambar 17. (b) Magnetisasi longitudinal berdasarkan usia laki-laki pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ) .....	26

Gambar 17. (c) Magnetisasi longitudinal berdasarkan usia laki-laki pada komponen otak cairan serebrospinal.....	27
Gambar 18. (a) Magnetisasi longitudinal berdasarkan usia perempuan pada komponen otak materi putih ( <i>white matter</i> ).....	28
Gambar 18. (b) Magnetisasi longitudinal berdasarkan usia perempuan pada komponen abu-abu ( <i>grey matter</i> ).....	29
Gambar 18. (c) Magnetisasi longitudinal berdasarkan usia perempuan pada komponen otak cairan serebrospinal .....	29
Gambar 19. (a) Magnetisasi longitudinal berdasarkan jenis kelamin pada komponen otak materi putih ( <i>white matter</i> ).....	31
Gambar 19. (b) Magnetisasi longitudinal berdasarkan jenis kelamin pada komponen materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ).....	31
Gambar 19. (c) Magnetisasi longitudinal berdasarkan jenis kelamin pada komponen otak cairan serebrospinal .....	31
Gambar 20. Magnetisasi transversal berdasarkan usia laki-laki pada komponen otak materi putih ( <i>white matter</i> ), materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ) dan cairan serebrospinal .....	32
Gambar 21. Magnetisasi transversal berdasarkan usia perempuan pada komponen otak materi putih ( <i>white matter</i> ), materi abu-abu ( <i>grey matter</i> ) dan cairan serebrospinal.....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Waktu Relaksasi T1 Berdasarkan Usia (Perempuan) .....	61
Lampiran 1.2 Waktu Relaksasi T2 Berdasarkan Usia (Perempuan) .....	62
Lampiran 1.3 Waktu Relaksasi T1 Berdasarkan Usia (Laki-laki) .....	63
Lampiran 1.4 Waktu Relaksasi T2 Berdasarkan Usia (Laki-laki) .....	65
Lampiran 1.5 Waktu Relaksasi T1 Berdasarkan Jenis Kelamin.....	66
Lampiran 1.6 Waktu Relaksasi T2 Berdasarkan Jenis Kelamin.....	67
Lampiran 1.7 Magnetisasi Longitudinal ( $M_z$ ) dan Transversal ( $M_{xy}$ ) pada Komponen Jaringan Otak Berdasarkan Usia .....	67
Lampiran 1.8 Magnetisasi Longitudinal ( $M_z$ ) dan Transversal ( $M_{xy}$ ) pada Komponen Jaringan Otak Berdasarkan Jenis Kelamin .....	68
Lampiran 1.8 Magnetisasi Longitudinal ( $M_z$ ) dan Transversal ( $M_{xy}$ ) pada Komponen Jaringan Otak Berdasarkan Jenis Kelamin .....	68
Lampiran 1.9 Pengolahan Data Magnetisasi Longitudinal ( $M_z$ ) berdasarkan Waktu Relaksasi T1 .....	69
Lampiran 1.10 Pengolahan Data Magnetisasi Longitudinal ( $M_{xy}$ ) berdasarkan Waktu Relaksasi T2 .....	69
Lampiran 2.2 Dokumentasi Kegiatan .....	70
Lampiran 2.1 Dokumentasi Pencarian <i>Volunteer</i> .....	70
Lampiran 2.2 Dokumentasi Sebelum dan Selama Pemeriksaan .....	71
Lampiran 2.3 Dokumentasi Pengolahan Data Pemeriksaan.....	72
Lampiran 2.4 Dokumentasi Hasil Pemeriksaan .....	73

## ***CURRICULUM VITAE***

### **A. Data Pribadi**

1. Nama : Arfinna
2. Tempat, tgl.lahir : Watampone, 2 Mei 1998
3. Alamat : Jl. Sungai Asahan No.40
4. Kewarganegaraan : Warga Negara Indonesia

### **B. Riwayat Pendidikan**

1. Tamat SLTA tahun 2016 di SMAN 1 Watampone
2. Sarjana (S1) tahun 2020 di Universitas Hasanuddin

### **C. Pekerjaan dan Riwayat Pekerjaan**

- Jenis pekerjaan : Fisikawan Medik
- NIP atau identitas lain (NIK) : 7308214205980003
- Pangkat/Jabatan : -

### **D. Karya Ilmiah yang telah dipublikasikan**

Arfinna et.al. 2024. Quantitative Analysis of Brain Examination Using Magnetic Resonance Imaging Compilation (MAGIC) Method at 3 Tesla MRI System. AIP Conference Proceedings. *American Institute of Physics*: 0094243X, 15517616.

### **E. Karya Ilmiah yang telah dipublikasikan**

Arfinna et.al. 2024. Quantitative Analysis of Brain Examination Using Magnetic Resonance Imaging Compilation (MAGIC) Method at 3 Tesla MRI System. Hybrid Conference of the 13<sup>th</sup> International Seminar on Paradigm and Innovation on Natural Science and its Application (ISNPINSA), 8<sup>th</sup> – 9<sup>th</sup> November 2023, Semarang, Indonesia.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan bidang kesehatan yang sangat cepat dapat dilihat pada pemanfaatan teknologi pencitraan medis yang telah berhasil dikembangkan untuk mengamati, menganalisis, mendiagnosis dan mengobati penyakit pada tubuh misalnya alat teknik pencitraan medis *Magnetic Resonance Imaging (MRI)* (Guan, Y., et.al, 2021). MRI menjadi salah satu teknis pencitraan yang menghasilkan citra tiga dimensi dengan resolusi yang tinggi dibandingkan dengan CT-Scan sehingga dapat digunakan dalam mendeteksi dan mendiagnosis jaringan lunak tubuh manusia, misalnya keberadaan tumor dalam organ otak manusia (Kumar, A., 2023 dan Kang, J., et.al, 2023). Hal ini juga didukung oleh modalitas dari MRI dengan menggunakan parameter yang berbeda seperti FLAIR, T1 dan T2 untuk menciptakan citra yang jelas dari jaringan lunak (Mohan, P, et.al, 2022 dan Tandel, G.S., et.al, 2019). MRI memiliki komponen sistem yang cukup kompleks. Komponen sistem MRI secara umum terdiri dari medan magnet utama, kumparan gradien, kumparan radiofrekuensi yang terdiri dari pengirim dan penerima serta komputer (Hernandez, D. dan Kim, K.N., 2020).

Pemeriksaan MRI konvensional tidak mampu memberikan informasi kuantitatif, tetapi hanya mampu memberikan diagnosis secara kualitatif dari suatu jaringan (Mochammed, B.A., et.al, 2023 dan Zhang, K., et.al, 2022). Penilaian kuantitatif yang objektif dan akurat terkait prognosis penyakit dapat menggunakan metode pencitraan yang potensial untuk mengevaluasi suatu penyakit dan efektivitas terapi, salah satunya MRI Sintetis atau *Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC)* sebagai teknik pencitraan baru (Zhang, K., et.al, 2022). *Magnetic Resonance Image Compilation (MAGIC)* adalah teknologi pemindaian kuantitatif terbaru berdasarkan prinsip rangkaian *Multiple-Delay-Multiple-Echo (MDME)*. Teknik ini menggunakan satu pemulihan saturasi *turbo-spin-echo* yang merupakan urutan *multislice* dengan waktu pengulangan yang panjang di antara akuisisi berikutnya. Metode ini digunakan untuk memperkirakan properti jaringan yang melekat pada organ dengan parameter MRI, seperti waktu relaksasi longitudinal (T1), waktu relaksasi transversal (T2) dan densitas proton (*Proton Density*) (Kotek, G., et.al, 2021).

Otak menjadi organ tubuh manusia yang mengendalikan seluruh sistem saraf. Umumnya, struktur otak manusia saat lahir sebagian besar sudah lengkap dimana volume otak saat berusia lima tahun sudah sekitar 95% dari ukuran otak dewasa. Komponen penting otak manusia yaitu materi abu-abu atau *grey matter* akan bertambah dan materi putih atau *white matter* akan berkurang seiring bertambahnya usia (Luders, E. dan Toga, A.W., 2010). Volume otak manusia dewasa sekitar 1130 cm<sup>3</sup> pada wanita dan 1260 cm<sup>3</sup> pada pria. Otak anak laki-laki berukuran 12-20% lebih besar dari anak perempuan. Namun otak pada bayi laki-laki dan perempuan tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan karena memiliki berat badan yang hampir sama (Gilmore, A.D, Buser, N.J dan Hanson, 2021).



Penelitian terkait metode MRI MAGIC dilakukan oleh Bo Syuan Huang, *et.al* (2023) tentang perbandingan MRF MAGIC *Sequence* untuk pengukuran kuantitatif simultan T1 dan T2 pada pelvis wanita yang menunjukkan korelasi yang signifikan antara MRF dan MAGIC pada hasil pengukuran nilai T1 dan T2 ( $p < 0,0001$ ) untuk berbagai jaringan panggul, termasuk *ilium*, *kepala femoralis*, *gluteus*, *obturator*, *iliopsoas*, *erector spinae*, *uterus*, serviks, dan lemak kulit. Kontras jaringan yang dihasilkan dari MRI konvensional dan MRF MAGIC menunjukkan kesesuaian tulang, otot dan rahim untuk citra T1w dan pembobotan T2w. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan T1w dan T2w dapat menjadi acuan dalam penggunaan MRF di bidang pencitraan organ panggul wanita tetapi diperlukan untuk menetapkan penggunaan klinis MRF MAGIC dan perlu mengembangkan protokol atau parameter standar untuk penerapannya dalam praktik klinis seperti ukuran sampel, kelompok umur maupun parameter medis lainnya (Huang, B.S., *et.al*, 2023).

Penelitian lain dilakukan oleh Baohui Lou, *et.al* (2021) tentang analisis kuantitatif MRI sintesis pada penyakit alzheimer. Penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dari nilai T1 dan T2 pada parenkim otak (BPV) dan volume intrakranial (BPV/ICV) ( $p > 0,05$ ), nilai waktu relaksasi pada cairan serebrospinal (CSF) pasien Alzheimer lebih besar apabila dibandingkan dengan orang sehat (NCs). Sehingga, MRI sintesis tidak hanya memberikan informasi lebih banyak untuk membedakan pasien Alzheimer dengan orang sehat, tetapi juga menggambarkan tingkat keparahan penyakit Alzheimer (Lou, B., *et.al*, 2021).

Penelitian lain dilakukan Amaresha Shridhar Konar, *et.al* (2022) tentang penilaian kualitatif dan kuantitatif pada metode MAGIC terkait analisis untuk pencitraan kepala dan leher. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata T1 dan T2 yang diperoleh dari otot normal adalah  $880 \pm 52$  ms dan  $46 \pm 3$  ms,  $1930 \pm 422$  ms dan  $77 \pm 13$  ms untuk pasien kepala dan leher yang belum diobati dan  $1745 \pm 410$  ms dan  $107 \pm 61$  ms untuk pasien kepala dan leher yang telah diobati. Manfaat MAGIC dalam pencitraan kepala dan leher yaitu dapat menyediakan relaksometri pemetaan dalam waktu singkat secara klinis dan kemampuan untuk menghasilkan kombinasi gambar kontras yang berbeda dalam satu akuisisi (Konar, A.S., *et.al*, 2022).

Penelitian lain juga dilakukan oleh Amaresha Shridhar Konar, *et.al* (2022) tentang pengukuran kuantitatif magnetik sintesis untuk metastasis otak (studi kelayakan). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai T1 dan T2 kuantitatif yang dihasilkan dari MRI sintesis dapat mengkarakterisasi BM dan jaringan otak dengan lesi tumor otak yang kecil. Nilai rata-rata T1 dan T2 adalah 1143 ms dan 78 ms untuk *grey matter*, 4206 ms dan 390 ms untuk cairan serebrospinal, 1868 ms dan 100 ms untuk metastasis otak yang belum diobati dan 2211 ms dan 114 ms untuk metastasis otak yang telah diobati (Konar, *et.al*, 2022).

Penelitian lain dilakukan oleh Yawen Liu, *et.al* (2022) tentang pemetaan kuantifikasi dan pembobotan gambar dari MRI sintesis menggunakan *Deep Learning Network*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kesalahan antara gambar kuantifikasi yang dihasilkan dan gambar referensi sangat kecil. Tidak ada perbedaan signifikan kualitas gambar atau rasio SNR yang diidentifikasi antara gambar DL dan

gambar sintetis. Gambar DL mencapai peningkatan kontras gambar dengan gambar T2W dan terdapat lebih sedikit artefak pada gambar DL dibandingkan gambar sintetis yang diperoleh dengan T2W FLAIR Yawen Liu, *et.al* (2022).

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya mengenai teknik pencitraan medis MRI menggunakan metode MAGIC maka peneliti ingin melakukan penelitian terkait dengan pencitraan medis MRI pada otak. Penelitian ini terkait dengan analisis kuantitatif waktu relaksasi yaitu waktu relaksasi longitudinal (T1) dan waktu relaksasi transversal (T2) MRI 3 Tesla menggunakan metode *Magnetic Resonance Image Compilation* (MAGIC) pada jaringan otak yang ditinjau berdasarkan jenis kelamin dan usia manusia.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis hasil T1 *mapping* otak menggunakan metode MAGIC yang diperoleh dari MRI 3 Tesla?
2. Bagaimana menganalisis nilai T1 dan T2 jaringan otak berdasarkan perbedaan usia dan jenis kelamin pada pemeriksaan MRI 3 Tesla menggunakan metode MAGIC?

## **1.3 Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis hasil T1 *mapping* otak menggunakan metode MAGIC yang diperoleh dari MRI 3 Tesla.
2. Untuk menganalisis nilai T1 dan T2 jaringan otak berdasarkan perbedaan usia dan jenis kelamin pada pemeriksaan MRI 3 Tesla menggunakan metode MAGIC.