

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pencitraan medis telah memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan kemampuan diagnosis berbagai penyakit pada sistem saraf pusat. Salah satu modalitas pencitraan yang banyak digunakan dalam bidang radiologi adalah *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), yaitu teknik pencitraan yang memanfaatkan medan magnet kuat dan gelombang radio untuk menghasilkan citra anatomi tubuh secara detail (Huo, 2025). MRI memiliki kemampuan menghasilkan citra jaringan lunak dengan kontras yang tinggi tanpa menggunakan radiasi pengion sehingga relatif aman digunakan dalam evaluasi berbagai kelainan neurologis (Al Rabah, 2024). Kemampuan ini menjadikan MRI sebagai salah satu metode pencitraan utama dalam pemeriksaan struktur anatomi otak dan berbagai penyakit pada sistem saraf pusat (Zhu, 2023).

Beberapa kondisi neurologis yang sering memerlukan pemeriksaan MRI diantaranya *multiple sclerosis*, *infark*, *hemoragi*, infeksi, trauma, dan tumor. MRI memiliki keunggulan dalam menghasilkan gambaran dengan resolusi spasial yang baik, kontras jaringan yang tajam dan kemampuan pencitraan multiplanar seperti potongan *axial*, *coronal*, dan *sagittal* tanpa rekonstruksi (Prita dkk., 2023). Berdasarkan data *Canadian Medical Imaging Inventory* tahun 2023, pemeriksaan MRI paling banyak digunakan untuk indikasi neurologis dengan proporsi 28% dari seluruh pemeriksaan MRI, diikuti oleh pemeriksaan muskuloskeletal sebesar 23% dan onkologi sebesar 17% (CMII, 2023). Dalam praktik klinis, MRI menjadi modalitas utama dalam evaluasi kelainan neurologis karena memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menampilkan detail jaringan lunak dibandingkan dengan modalitas pencitraan lain seperti CT scan (Ilawanda, 2021).

Kualitas citra MRI dipengaruhi oleh berbagai parameter pencitraan, antara lain *repetition time* (TR), *echo time* (TE), *flip angle* (FA), *field of view* (FOV), ukuran matriks, serta jenis sekuens yang digunakan dalam proses akuisisi data. Parameter-parameter tersebut berperan dalam menentukan karakteristik kontras citra dan resolusi spasial pada citra yang dihasilkan (Raoul, 2025). Perbedaan pengaturan parameter dan teknik akuisisi tersebut dapat menghasilkan variasi kualitas citra, yang tercermin pada perubahan rasio sinyal terhadap derau (SNR) dan kejelasan struktur anatomi yang ditampilkan (Masghuri dkk., 2025).

Salah satu parameter penting dalam pemeriksaan MRI adalah *flip angle*. *Flip angle* merupakan sudut rotasi magnetisasi dari arah longitudinal menuju bidang transversal akibat pulsa radiofrekuensi, sehingga menentukan besar kecilnya sinyal yang dihasilkan pada citra MRI (Astuti dkk., 2017). Variasi nilai *flip angle* pada pemeriksaan MRI otak memengaruhi kualitas informasi citra anatomi, di mana perbedaan pengaturan *flip angle* menghasilkan perubahan kejelasan struktur dan kontras jaringan pada citra yang dihasilkan (Riyadi dkk., 2025). Penelitian mengenai teknik variabel *flip angle* menunjukkan bahwa perubahan sudut eksitasi dapat

mempengaruhi karakteristik kontras citra serta efisiensi akuisisi data pada pemeriksaan MRI (Wang dkk., 2024).

Dalam pemeriksaan klinis MRI, beberapa *sequence* seperti *T2-weighted imaging*, *Diffusion-Weighted Imaging* (DWI), dan varian T1-WI serta T2-WI dengan *fat saturation* sering digunakan untuk menilai lesi karena penekanan sinyal lemak membantu meningkatkan kontras antara struktur patologis dengan jaringan sekitarnya (Cazacu dkk., 2025). *T2-weighted fat saturation* merupakan teknik pencitraan MRI yang digunakan untuk menekan sinyal lemak sehingga struktur patologis dapat terlihat lebih jelas. Penelitian sebelumnya, pada pemeriksaan MRI lumbal menunjukkan bahwa *sequence* T2 *Fat Saturation* memiliki kemampuan yang setara dengan T2 STIR dalam memvisualisasikan jaringan, di mana secara statistik tidak ditemukan perbedaan signifikan antara keduanya. Namun, *sequence* *Fat Saturation* tetap menjadi pilihan yang efisien karena menawarkan waktu pemindaian yang lebih singkat, sehingga dapat meminimalisir munculnya artefak pergerakan pasien (Agrilian dkk., 2023). *Sequence* ini memberikan kontras yang baik pada jaringan dengan kandungan air tinggi, seperti edema maupun cairan serebrospinal. Oleh karena itu, optimasi parameter pencitraan pada *sequence* ini penting untuk meningkatkan kualitas citra yang dihasilkan (Utami dkk., 2022).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan Dartini dkk. (2021) menganalisis pengaruh variasi *flip angle* pada *sequence* sagittal T2*W MERGE lutut dengan kasus robekan ligamen ACL (*Anterior Cruciate Ligament*). Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan nyata kualitas visualisasi anatomi pada variasi *flip angle*, di mana FA sebesar 20° menghasilkan kualitas citra yang paling baik berdasarkan penilaian radiolog. Nilai FA yang lebih rendah atau lebih tinggi cenderung menurunkan kejelasan struktur, baik pada ACL, PCL, maupun jaringan sekitarnya (Dartini dkk., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Fatimah dkk. (2021) menganalisis pengaruh variasi *flip angle* pada *sequence* 3D *Time of Flight* (TOF) MRA otak menggunakan MRI 3 Tesla terhadap kualitas visualisasi pembuluh darah intrakranial. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan *flip angle* sebesar 15°, 20°, 25°, dan 30°, kemudian menilai informasi anatomi arteri otak oleh tiga radiolog. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada kualitas citra di antara variasi *flip angle*, di mana FA sebesar 25° menghasilkan kualitas visualisasi arteri intrakranial yang paling baik (Fatimah dkk., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk. (2024) mengembangkan teknik pencitraan otak 3D *spiral-in-out turbo spin echo* (*spiral SPACE*) pada MRI 0,55 Tesla dengan memanfaatkan variabel *flip angle refocusing pulses*, kompensasi gradien, dan *echo reordering*. Penelitian ini membandingkan penggunaan skema *flip angle* variabel (sekitar 110° pada awal pulsa, menurun bertahap hingga 50° pada akhir urutan) dengan *sequence* Cartesian SPACE konvensional. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kualitas citra yang signifikan, dengan nilai SNR meningkat sekitar 15–25% pada substansi putih dan abu-abu. Penggunaan skema *flip angle* variabel terbukti mampu mempertahankan kontras T2 dan mengurangi artefak (Wang dkk., 2024).

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa variasi *flip angle* memiliki pengaruh terhadap kualitas citra MRI, terutama dalam mempengaruhi intensitas sinyal, kontras citra, serta kemampuan visualisasi struktur anatomi. Penelitian mengenai kualitas citra MRI dengan berbagai parameter telah dilakukan pada berbagai jenis *sequence* dan objek pencitraan. Namun, penelitian yang secara khusus mengkaji pengaruh variasi *flip angle* terhadap kualitas citra pada *sequence T2-weighted fat saturation* dalam pencitraan tumor otak masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi *flip angle* pada *sequence T2-weighted fat saturation* terhadap kualitas citra MRI tumor otak. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif melalui perhitungan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast to Noise Ratio* (CNR) pada tumor otak dan jaringan sehat. Selain itu, penelitian ini juga dilengkapi dengan analisis statistik untuk mengetahui signifikansi perbedaan nilai SNR dan CNR pada setiap variasi *flip angle*. Penelitian ini dilakukan di Rumah Sakit Pendidikan Universitas Hasanuddin untuk menganalisis pengaruh variasi *flip angle* terhadap kualitas citra tumor otak pada *sequence T2-weighted fat saturation*. Melalui analisis tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perbedaan kualitas citra yang dihasilkan dari variasi nilai *flip angle*, sehingga dapat menjadi informasi tambahan dalam pengaturan parameter pemeriksaan MRI tumor otak.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menghitung nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada jaringan tumor otak dan jaringan sehat yang meliputi *cerebrospinal fluid* (CSF), *white matter* (WM) dan *gray matter* (GM).
2. Menghitung nilai *Contrast to Noise Ratio* (CNR) pada tumor otak dan jaringan sehat yang meliputi *white matter* (WM) dan *gray matter* (GM).
3. Menganalisis pengaruh variasi *flip angle* terhadap nilai SNR pada jaringan tumor dan jaringan sehat, serta nilai CNR pada pasangan jaringan yang meliputi Tumor-WM, Tumor-GM dan WM-GM.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi ilmiah mengenai pengaruh variasi parameter *flip angle* terhadap kualitas citra MRI otak, khususnya pada penggunaan *sequence T2-weighted fat saturation*. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi radiografer dan praktisi radiologi mengenai karakteristik kualitas citra yang dihasilkan dari variasi nilai *flip angle* berdasarkan analisis kuantitatif menggunakan parameter SNR dan CNR pada beberapa jaringan utama otak. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi bahan referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisis kualitas citra dan pengaturan parameter pada pemeriksaan MRI.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Pendidikan Universitas Hasanuddin selama dua bulan terhitung mulai tanggal 18 Desember 2025 sampai 6 Februari 2026.

2.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan utama yang berperan dalam mendukung proses akuisisi citra MRI. Peralatan tersebut mencakup sistem pencitraan sebagai alat utama, perangkat pendukung selama pemeriksaan pasien, serta perangkat yang digunakan dalam proses pengolahan dan analisis data.

2.2.1 *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*

MRI merupakan instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini. Pesawat MRI yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Philips Ingenia Ambition* 1.5T keluaran tahun 2019. MRI ini memiliki kekuatan medan magnet sebesar 1,5 Tesla dan digunakan untuk memperoleh citra MRI otak pada subjek penelitian.



Gambar 1. Pesawat MRI 1,5 T

2.2.2 *Head coil*

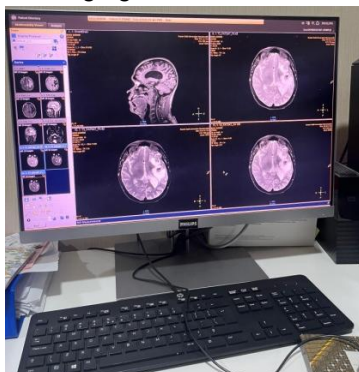
Head coil digunakan sebagai koil penerima sinyal pada pemeriksaan MRI otak. Alat ini berfungsi untuk menangkap sinyal radiofrekuensi yang dipancarkan oleh jaringan tubuh setelah diberikan pulsa RF, sehingga membantu meningkatkan kualitas sinyal dan resolusi citra yang dihasilkan pada pemeriksaan MRI otak.



Gambar 2. *Head coil*

2.2.3 IntelliSpace Portal (ISP)

Software ini merupakan perangkat lunak yang terintegrasi dengan sistem MRI dan digunakan untuk menampilkan, mengelola, serta menyimpan data citra medis dalam format DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*).



Gambar 3. Perangkat komputer yang dilengkapi *software* ISP

2.2.4 Radiant DICOM Viewer

Perangkat lunak yang digunakan untuk analisis citra dalam penelitian ini adalah *RadiAnt DICOM Viewer*. *Software* ini digunakan untuk menampilkan citra MRI serta melakukan analisis citra dengan menentukan *Region of Interest* (ROI) pada beberapa jaringan utama otak dan area *background*. Nilai intensitas sinyal yang diperoleh dari ROI tersebut adalah nilai *mean*, yang kemudian digunakan untuk menghitung SNR dan CNR sebagai parameter penilaian kualitas citra MRI.

2.2.5 Statistical Package for the Social Sciences (SPSS versi 22)

Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan analisis statistik pada data penelitian. SPSS digunakan untuk uji normalitas, uji *repeated measures* ANOVA, serta uji pendukung analisis yakni *Friedman test* untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan nilai SNR dan CNR pada setiap variasi *flip angle*.

2.3 Metode Penelitian

Berdasarkan pengumpulan data, diperoleh kriteria sampel penelitian yang dikelompokkan menurut jenis kelamin dan kategori umur sebagaimana ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Sampel Penelitian

Kode Pasien	Jenis Kelamin	Usia (Tahun)	Berat Badan (kg)	Jenis Tumor Otak
P1	Perempuan	61	58	Cyst adenoma hipofisis dan Schwannoma
P2	Laki-laki	36	57	Meningioma
P3	Laki-laki	36	54	Hemangioblastoma
P4	Perempuan	69	52	Astrocytoma
P5	Laki-laki	62	50	Meningioma
P6	Perempuan	58	55	Meningioma
P7	Perempuan	42	60	Meningioma

Berdasarkan Tabel 1, jumlah subjek yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 7 pasien tumor otak dengan jenis pemeriksaan MRI otak. Karakteristik sampel dikelompokkan berdasarkan rentang usia dan berat badan. Berdasarkan jenis kelamin, sampel terdiri atas 4 pasien perempuan dengan rentang usia 42–70 tahun dan berat badan 52–60 kg, serta 3 pasien laki-laki dengan rentang usia 36–62 tahun dan berat badan 50–57 kg. Selain itu, berdasarkan jenis tumor otak, sampel penelitian ini didominasi oleh kasus meningioma yang ditemukan pada beberapa pasien, serta terdapat variasi jenis tumor lainnya seperti astrocytoma, hemangioblastoma, serta kombinasi cyst adenoma hipofisis dan schwannoma. Pengelompokan ini dilakukan untuk menunjukkan gambaran umum karakteristik pasien yang terlibat dalam penelitian ini.

Tabel 2. Parameter *T2-weighted fat saturation* pada pesawat MRI 1,5 Tesla

Parameter T2-Weighted Fat Saturation (1,5 T)	
<i>Flip angle</i>	45°, 90°, 135°
<i>Repetition Time (TR)</i>	1267 ms
<i>Echo Time (TE)</i>	80 ms
<i>Slice Thickness</i>	6 mm
Jumlah Slice	20 slice
<i>Matrix</i>	168 x 168
<i>Field of View (FOV)</i>	250 x 250 mm
<i>Intersection Gap</i>	2 mm
NSA	1
Orientasi	<i>Axial (Transversal)</i>

Berdasarkan Tabel 2, parameter pencitraan yang digunakan pada penelitian ini merupakan parameter *sequence T2-weighted fat saturation* yang dijalankan pada pesawat MRI dengan kekuatan medan magnet 1,5 Tesla. *Sequence T2-weighted fat saturation* digunakan karena mampu meningkatkan kontras citra dengan menonjolkan area edema di sekitar tumor serta menekan sinyal lemak, sehingga batas tumor terlihat lebih jelas dan memudahkan analisis kualitas citra. Nilai TR sebesar 1267 ms dan TE sebesar 80 ms digunakan sesuai dengan protokol *sequence T2-weighted fat saturation* pada sistem MRI yang digunakan dalam penelitian ini. Ketebalan irisan (*slice thickness*) ditetapkan 6 mm dengan jumlah 20 *slice* untuk mencakup area anatomi otak yang akan dianalisis.

Variasi *flip angle* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 45°, 90°, dan 135°, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan *flip angle* terhadap kualitas citra, khususnya nilai SNR dan CNR. Pada *sequence T2-weighted fat saturation*, *flip angle* yang dimaksud merupakan *refocusing* dan *excitation flip angle* dan yang berperan dalam proses pembentukan *echo* sepanjang *echo train*. Variasi ini digunakan untuk mengamati perubahan karakteristik sinyal akibat perbedaan kontribusi *echo*, sehingga dapat dianalisis pengaruhnya terhadap kualitas citra.

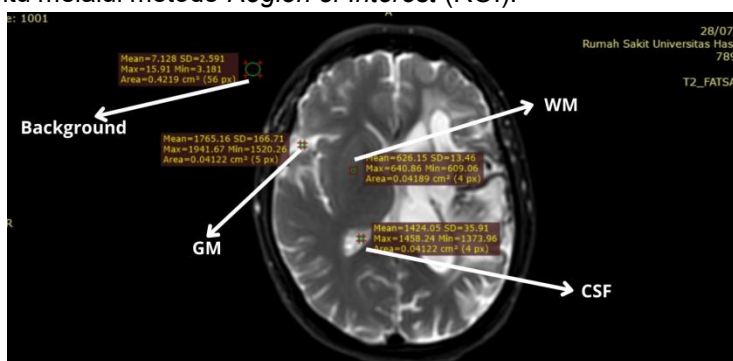
Akuisisi citra pada penelitian ini dilakukan secara berurutan dengan variasi *flip angle* 45°, 90°, dan 135° menggunakan *sequence T2-weighted fat saturation*

berbasis *turbo spin echo* dengan parameter lain yang dijaga tetap. Variasi *flip angle* yang digunakan merupakan *refocusing flip angle* yang berperan dalam pembentukan *echo* sepanjang *echo train*. Seluruh pemeriksaan menggunakan urutan yang sama untuk setiap pasien guna menjaga konsistensi prosedur akuisisi. Teknik *fat saturation* yang digunakan adalah *Spectral Presaturation with Inversion Recovery* (SPIR) sesuai dengan protokol sistem MRI.

Parameter matriks sebesar 168 x 168 dan FOV sebesar 250 x 250 mm digunakan untuk memperoleh resolusi spasial yang memadai. Selain itu, digunakan *intersection gap* sebesar 2 mm untuk mengurangi kemungkinan terjadinya irisan yang saling tumpang tindih. Nilai *Number of Signal Average* (NSA) ditetapkan 1 untuk menjaga waktu akuisisi tetap singkat. Pengambilan citra MRI pada penelitian ini menggunakan orientasi potongan *axial* (transversal). Bidang *axial* dipilih karena mampu menampilkan struktur anatomi otak secara menyeluruh dalam satu irisan, sehingga beberapa jaringan utama seperti CSF, WM, dan GM dapat diamati secara bersamaan. Selain itu, pada irisan tertentu juga dapat terlihat area tumor beserta jaringan di sekitarnya. Hal ini memudahkan dalam penentuan ROI yang dalam penelitian ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu ROI pada *slice* tanpa tumor serta ROI pada *slice* dengan tumor yang meliputi jaringan di sekitar tumor.

2.3.1 Penentuan *Region Of Interest* (ROI)

Analisis citra MRI pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *RadiAnt DICOM Viewer*. Perangkat lunak ini digunakan untuk menampilkan citra DICOM serta melakukan pengukuran kuantitatif terhadap intensitas sinyal pada area tertentu melalui metode *Region of Interest* (ROI).



Gambar 4. Penentuan ROI pada citra MRI *sequence T2-weighted fat saturation* bidang *axial* menggunakan *RadiAnt DICOM Viewer*

Penentuan ROI dilakukan secara manual pada dua kategori irisan (*slice*) citra, yaitu *slice* yang terdapat tumor dan *slice* tanpa tumor. Pada *slice* tanpa tumor, ROI ditempatkan pada tiga jenis jaringan otak, yaitu *Cerebrospinal Fluid* (CSF), *White Matter* (WM), dan *Gray Matter* (GM), serta pada area *background* sebagai representasi *noise* citra. Ketiga jaringan tersebut dipilih karena merupakan struktur utama otak yang memiliki karakteristik intensitas sinyal yang berbeda dan relatif konsisten, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam analisis kualitas citra

MRI. Pada *slice* yang terdapat tumor, ROI ditempatkan pada tiga area, yaitu WM dekat tumor, GM dekat tumor dan area tumor. Penentuan ROI tumor dilakukan pada *slice* yang paling representatif dalam menampilkan area tumor pada masing-masing pasien, sehingga area yang dipilih dapat menggambarkan karakteristik sinyal tumor secara optimal.

Penentuan lokasi ROI pada setiap pasien tidak selalu berada pada irisan (*slice*) yang sama. Hal ini disebabkan oleh variasi anatomi dan perbedaan lokasi, ukuran, serta bentuk tumor pada masing-masing pasien. Oleh karena itu, pemilihan *slice* dilakukan secara individual dengan mempertimbangkan irisan yang memberikan visualisasi terbaik dalam menampilkan jaringan yang diamati, baik pada jaringan normal maupun area tumor. Dari setiap ROI yang dipilih, perangkat lunak *RadiAnt* secara otomatis menampilkan parameter statistik berupa nilai rata-rata intensitas sinyal (*mean*), standar deviasi (SD), nilai maksimum, nilai minimum, serta luas area ROI. Nilai rata-rata intensitas sinyal digunakan dalam perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR), sedangkan standar deviasi pada area *background* digunakan sebagai representasi *noise*. Perbedaan nilai intensitas sinyal antar jaringan digunakan untuk menghitung *Contrast to Noise Ratio* (CNR).

Luas ROI yang digunakan pada jaringan CSF, WM, GM dan area tumor masing-masing sebesar 0,04 cm². Ukuran ROI dibuat sama untuk menjaga konsistensi pengukuran antar jaringan. Penggunaan ROI berukuran kecil pada jaringan otak juga bertujuan untuk meminimalkan kemungkinan tercampurnya sinyal dari jaringan di sekitarnya (*partial volume effect*), sehingga nilai sinyal yang diukur lebih merepresentasikan jaringan yang diamati (Jovic dkk., 2020). Pada bagian *background* digunakan ROI yang lebih besar, yaitu 0,3 cm², agar nilai standar deviasi *noise* yang diperoleh lebih mewakili, karena area *background* memiliki intensitas yang relatif homogen. Namun, dengan mempertimbangkan parameter FOV 250 x 250 mm dan matriks 168 x 168, ukuran ROI tersebut setara dengan jumlah piksel yang relatif terbatas. Untuk mengurangi pengaruh fluktuasi nilai akibat ukuran ROI yang kecil, pengukuran dilakukan dengan menggunakan 5 titik ROI pada setiap jaringan dan kemudian dirata-ratakan. Penentuan ukuran ROI tersebut juga mengacu pada penelitian sebelumnya yang menggunakan ukuran ROI serupa dalam analisis kualitas citra MRI.

2.3.2 Analisis Data

Tahapan analisis dilakukan dengan mengevaluasi data intensitas sinyal yang diperoleh dari penentuan ROI. Parameter utama yang digunakan untuk mengukur kualitas citra adalah *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast to Noise Ratio* (CNR). Nilai SNR ditentukan untuk merepresentasikan perbandingan antara kekuatan sinyal jaringan terhadap gangguan *noise* pada citra. Nilai SNR dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Bhargawan dkk., 2025):

$$SNR = \frac{SI}{SD_{noise}} \quad (1)$$

Dimana,

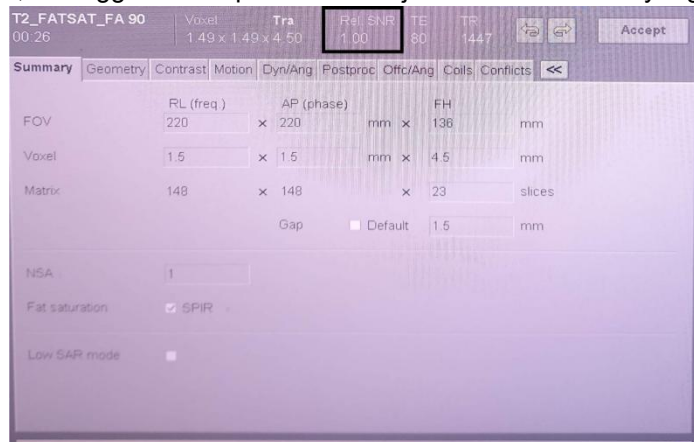
$\overline{SI}$ = *signal intensity* (nilai rata-rata sinyal pada jaringan yang diukur)

SD_{noise} = standar deviasi dari *background (noise)*

1. Perhitungan nilai SNR berdasarkan Intensitas Sinyal

Pada penelitian ini, perhitungan SNR dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah perhitungan nilai SNR yang dibandingkan dengan nilai SNR yang ditampilkan pada sistem MRI *Philips Ingenia Ambition 1,5 T* sebagai nilai acuan dan tahap yang kedua adalah perhitungan SNR berdasarkan nilai intensitas sinyal menggunakan persamaan (1).

Nilai SNR yang ditampilkan pada sistem MRI *Philips Ingenia Ambition 1,5 T* merupakan nilai SNR acuan yang telah ditetapkan pada pemeriksaan MRI dengan *sequence T2-weighted fat saturation*. Perbandingan dilakukan antara nilai intensitas sinyal pada jaringan sehat dan jaringan yang terdapat tumor pada lokasi yang bersesuaian. Nilai acuan SNR sebesar 1,00 mengacu pada toleransi pengukuran SNR sistem MRI *Philips Ingenia Ambition 1.5T* seperti pada Gambar 5 bagian yang di beri tanda kotak berwarna hitam, di mana nilai yang mendekati nilai standar yang ditetapkan menunjukkan bahwa kualitas sinyal pada satu pencitraan sesuai dengan acuan sistem, sehingga secara praktis menunjukkan kualitas citra yang baik.



Gambar 5. Tampilan nilai SNR pada sistem MRI *Philips Ingenia Ambition 1.5 T*

2. Perhitungan nilai CNR berdasarkan Intensitas Sinyal

Penentuan nilai CNR dilakukan untuk mengetahui tingkat perbedaan kontras antara dua jaringan yang diamati, yaitu antara jaringan tumor, WM, dan GM. Nilai CNR yang tinggi menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik antar jaringan dapat terlihat lebih jelas. Perhitungan CNR dilakukan dengan persamaan (Bhargawan dkk., 2025):

$$CNR = \frac{|SI_a - SI_b|}{SD_{noise}} \quad (2)$$

Dimana,

SI_a = nilai rata-rata sinyal pada jaringan pertama

SI_b = nilai rata-rata sinyal pada jaringan kedua

SD_{noise} = standar deviasi dari *background (noise)*

Hasil penghitungan SNR dan CNR dari ketiga variasi *flip angle* (45°, 90°, dan 135°) kemudian dibandingkan untuk mengidentifikasi perubahan kualitas citra pada setiap pasien. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan meninjau nilai rata-rata tertinggi dari kedua parameter tersebut guna menentukan sudut *flip angle* yang menghasilkan kualitas citra paling optimal secara kuantitatif. Berdasarkan hasil perhitungan SNR dan CNR dilakukan uji statistik untuk memperkuat hasil yang diperoleh.

2.3.3 Uji statistik

Data yang diperoleh pada perhitungan SNR dan CNR berdasarkan intensitas sinyal dianalisis menggunakan uji statistik untuk mengetahui signifikansi perbedaan nilai SNR dan CNR pada setiap variasi *flip angle*. Tahapan uji statistik yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Uji Normalitas (Shapiro-Wilk)

Tahap awal dilakukan uji normalitas menggunakan metode Shapiro-Wilk untuk mengetahui distribusi data. Data dikatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi (p-value) > 0,05.

2. Uji *Repeated Measures* ANOVA

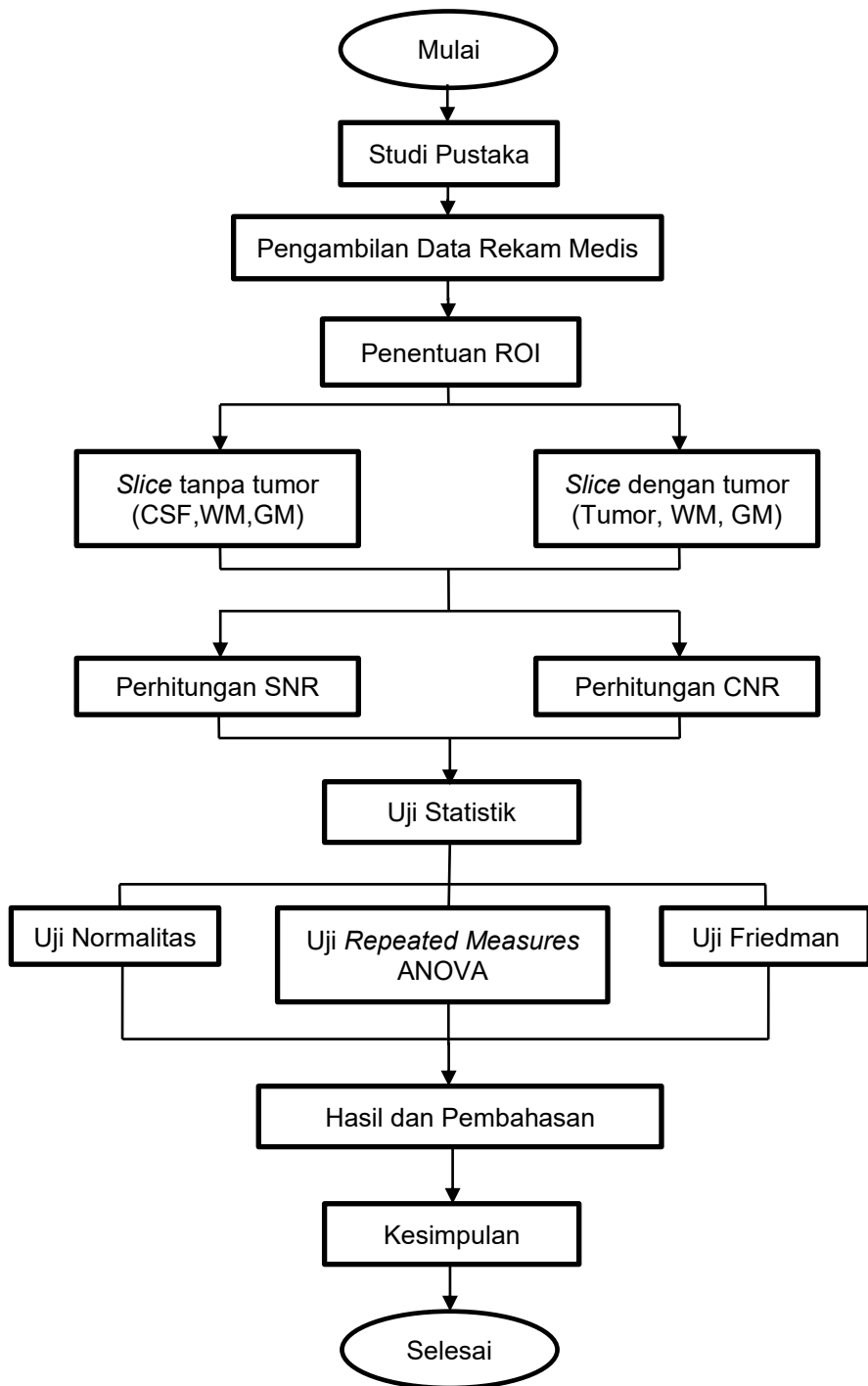
Apabila data berdistribusi normal, maka dilakukan uji *repeated measures* ANOVA untuk mengetahui adanya perbedaan yang signifikan antar variasi *flip angle*. Perbedaan dinyatakan signifikan apabila nilai $p < 0,05$.

3. Uji Friedman

Uji Friedman digunakan sebagai analisis pendukung untuk memperoleh nilai *mean rank*, sehingga dapat memperkuat hasil dalam menentukan variasi *flip angle* yang memberikan kualitas citra terbaik.

Selanjutnya, apabila terdapat perbedaan yang signifikan, penentuan variasi *flip angle* yang paling baik dilakukan berdasarkan nilai rata-rata (*mean*) SNR dan CNR tertinggi. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan *software* SPSS versi 22 dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 0,05.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram alir penelitian