

INVESTIGASI FAKTOR USIA MODALITAS MRI 1.5 TESLA TERHADAP *SIGNAL TO NOISE RATIO*

Dea Indri Utami^{1*}, Muhammad Irsal¹, Shinta Gunawati Sutori¹, Tri Asih Budiati²

¹Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi, Poltekkes Jakarta II, Jakarta, Indonesia, 12120

²Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi, STIKES Pertamedika, Jakarta, Indonesia, 12240

*Korespondensi: Muhammad Irsal, Poltekkes Jakarta II, Jakarta, Indonesia, 12120
E-mail: muhammad.irsal@poltekkesjkt2.ac.id

Article History:

Received: November 11th, 2025; Revised: December 21st, 2025; Accepted: December 29th, 2025

Abstract: Changes in signal-to-noise ratio (SNR) may be influenced by the installation age of MRI systems exceeding 10 years, as well as increased usage frequency, which can contribute to a decline in system performance. This study investigated the effect of MRI installation age on SNR in two different brands of 1.5 Tesla MRI systems. This research employed an experimental method by measuring SNR values using an MRI phantom filled with 1000 cc of water. Image acquisition was performed using FLAIR, DWI, and T2*GRE sequences. SNR measurements were conducted using ImageJ software with a consistent region of interest (ROI) diameter of 5 mm applied to all images. Statistical analysis was performed to assess differences in mean SNR values between the two 1.5 Tesla MRI systems using an independent samples t-test with a significance level of 0.05. The results showed that the SNR value for the FLAIR sequence was 102.8 for brand A and 65.8 for brand B, with a p-value of 0.00. For the DWI sequence, the SNR value was 63.4 for brand A and 54.3 for brand B, with a p-value of 0.04. For the T2*GRE sequence, the SNR value was 107.1 for brand A and 45.2 for brand B, with a p-value of 0.00. Differences in SNR values were associated with variations in acquisition parameters such as TR, TE, NEX, and bandwidth, differences in the number of head coil channels, as well as differences in production year and duration of MRI system utilization. Therefore, standardization of acquisition parameters, routine technical evaluation of MRI systems, and detailed analysis of DICOM metadata are recommended in future studies to achieve more objective and accurate comparisons of MRI image quality.

Keywords: DWI, FLAIR, T2* GRE; Signal to Noise Ratio (SNR); 1.5 Tesla MRI Modalities

Abstrak: Perubahan nilai *signal to noise ratio* (SNR) disebabkan faktor usia instalasi modalitas MRI yang sudah mencapai lebih dari 10 tahun, serta frekuensi penggunaan yang semakin tinggi yang dapat menyebabkan penurunan kinerja modalitas. Penelitian ini melakukan investigasi faktor usia instalasi modalitas MRI terhadap SNR pada dua merek modalitas MRI dengan kekuatan medan magnet 1.5 Tesla. Metode penelitian ini adalah eksperimen dengan melakukan pengukuran nilai SNR pada dua modalitas MRI menggunakan pantom MRI yang berisi air dengan volume 1000 cc pada penggunaan *sequence* FLAIR, DWI dan T2*GRE. Pengukuran SNR menggunakan Image-J dengan mempertimbangkan ukuran *regoin of interest* (ROI) berdiameter 5 mm sama pada semua citra. Kemudian dilakukan uji statistik untuk mengetahui adakah perbedaan nilai rata-rata SNR pada kedua modalitas MRI 1.5 Tesla dengan uji *Independent t-test* dengan nilai *p-value* 0.05. Hasil penelitian untuk nilai SNR pada *sequence* FLAIR untuk merek A 102.8, sedang merek B 65.8 dengan hasil *p-value* 0.00. Nilai SNR Pada *sequence* DWI untuk merek A 63.4, sedangkan merek B 54.3 dengan hasil *p-value* 0.04. Nilai SNR Pada *sequence* T2*GRE untuk merek A 107.1, sedangkan merek B 45.2 dengan hasil *p-value* 0.00. Perbedaan nilai SNR tersebut berkaitan dengan variasi parameter akuisisi seperti TR, TE, NEX, dan bandwidth, perbedaan jumlah channel head coil, serta perbedaan tahun produksi dan usia pemanfaatan perangkat MRI. Oleh karena itu, perlunya standarisasi parameter akuisisi, evaluasi teknis perangkat MRI secara berkala, serta analisis metadata DICOM pada penelitian selanjutnya guna memperoleh perbandingan kualitas citra MRI yang lebih objektif dan akurat.

Kata Kunci: DWI, FLAIR, T2* GRE; Signal to Noise Ratio (SNR); MRI 1.5 Tesla

PENDAHULUAN

Pencitraan medis diharapkan mampu memberikan diagnosis secara cepat dan akurat. Hingga saat ini, kemajuan teknologi semakin meningkat dengan adanya berbagai macam teknologi terbaru untuk mendiagnosis penyakit pada tubuh manusia menggunakan modalitas *Magnetic resonance imaging* (MRI) yang menggabungkan teknologi komputer, medan magnet yang tinggi berkisar antara 0,064 sampai dengan 7 Tesla (1Tesla = 10.000 gauss), serta gelombang radio untuk menghasilkan gambaran penampang tubuh manusia (Maulida et al., 2019).

Perkembangan modalitas MRI telah meningkatkan kekuatan medan magnet yang digunakan, mulai dari medan magnet rendah seperti 0,2 dan 0,5 Tesla untuk pemeriksaan ekstremitas, hingga 1,5 dan 3 Tesla untuk penggunaan klinis yang lebih spesifik dan detail, bahkan hingga 7 Tesla untuk penelitian dibidang kesehatan. Kekuatan medan yang lebih tinggi meningkatkan sinyal yang terdeteksi dari jaringan dan menghasilkan gambaran yang lebih baik dengan resolusi spasial tinggi, waktu pemeriksaan lebih cepat, dan akurasi diagnostik yang meningkat. Namun, kekuatan medan yang lebih tinggi juga dapat menyebabkan artefak yang lebih banyak pada citra. Dalam pencitraan MRI, gradien medan magnet digunakan untuk menciptakan gambar. Ini berarti kekuatan medan magnet bervariasi dari satu titik ke titik lain (Wardlaw et al., 2012) (Horowitz, n.d.).

Pencitraan modalitas MRI memerlukan protokol yang tepat untuk menghasilkan gambaran yang baik. *Sequence* merupakan parameter penting dalam aturan protokol MRI. Aturan protokol diperlukan untuk melakukan pemeriksaan pada setiap bagian tubuh menggunakan MRI, dan *sequence* menjadi salah satu parameter yang digunakan dalam aturan protokol tersebut (Cahyaningrum, 2020). *Pulsa Sequence* adalah rangkaian tindakan yang mencakup pulsa radio frekuensi (RF), pengaturan gradien, dan pengumpulan sinyal yang dilakukan dalam proses pencitraan resonansi magnetik (MRI) untuk menghasilkan gambaran (Susanto et al., 2018). Salah satu pemeriksaan rutin yang umum dilakukan pada MRI adalah MRI Brain (Wood et al., 2022). Protokol kepala yang sering digunakan dalam pemeriksaan MRI meliputi T1 *weighted*, T2 FLAIR, DWI, SWI, T2* GRE, MRA, dan MRV. Pemilihan protokol yang tepat bergantung pada kondisi klinis pasien dan tujuan pemeriksaan. (Mehan et al., 2014) penggunaan parameter dan urutan (*sequence*) yang tepat dalam pemeriksaan MRI dapat mempengaruhi hasil kualitas citra (Muzamil, 2019).

Signal to noise ratio (SNR) merupakan faktor yang sangat penting sebagai parameter indikator kualitas citra pada modalitas MRI. SNR ditentukan oleh intensitas sinyal saat proses pencitraan MDRI, jika nilai SNR menurun, maka gambaran akan terlihat buram dan kurang jelas. Oleh karena itu, nilai SNR yang semakin tinggi dapat menghasilkan citra peningkatan kualitas citra pada modalitas MRI (Westbrook et al., 2011). Penyebab penurunan nilai SNR dalam MRI disebabkan oleh adanya *noise* radiofrekuensi yang berasal dari lingkungan sekitar dan juga kesalahan sistem dalam MRI, baik pada coil maupun system transmitter radiofrekuensi. Selain itu, penurunan SNR juga disebabkan oleh usia instalasi modalitas MRI yang sudah mencapai lebih dari 10 tahun, serta frekuensi penggunaan yang semakin tinggi yang dapat menyebabkan penurunan kinerja modalitas (Wedayanti et al., 2019).

Faktor usia instalasi modalitas yang semakin lama waktu penggunaannya memiliki risiko kegagalan dan kerusakan yang tinggi yang menyebabkan keterlambatan proses pelayanan diagnosa dan terapi, juga dapat menimbulkan resiko masalah keselamatan bagi pasien dan staf medis. Dalam modalitas MRI umumnya berusia 8-12 tahun dengan pemeliharaan yang teratur untuk memastikan hasil pencitraan MRI yang optimal (European Society of Radiology (ESR), 2014). Dari hasil observasi selama melakukan praktik kerja lapangan pada modalitas MRI dan kajian teori didapatkan bahwa terdapat kemungkinan terjadi perbedaan nilai SNR yang disebabkan oleh usia instalasi modalitas MRI 1.5 Tesla, sehingga dilakukan penelitian tentang investigasi usia instalasi modalitas MRI 1.5 Tesla terhadap nilai SNR pada dua merek

modalitas MRI menggunakan pantom MRI berisi air volume 1000 cc, serta membandingkan dengan variasi parameter FLAIR, DWI, T2* GRE. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh usia instalasi modalitas MRI 1,5 Tesla terhadap nilai SNR, serta mengidentifikasi perbedaan nilai SNR dengan variasi parameter akuisisi yang digunakan pada masing-masing perangkat MRI.

METODE PENELITIAN

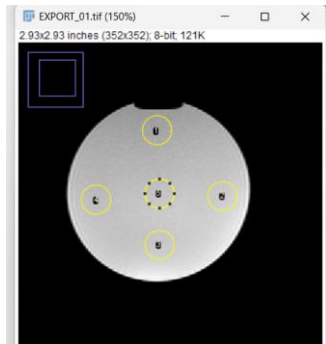
Penelitian telah memiliki persetujuan komisi etik penelitian kesehatan Poltekkes Kemenkes Jakarta II: DP.04.03/I/KE/30/446/2024. Jenis penelitian adalah eksperimen dengan membandingkan dua merek modalitas dengan usia instalasi yang berbeda dengan kemampuan medan magnet yang sama yaitu 1.5 Tesla. Waktu penelitian dilakukan antara bulan Januari sampai dengan April tahun 2024. Pada Gambar 1. Menjelaskan tentang alat dan bahan yang



(a) Merek A



(b) Merek B



(c) ROI citra MRI



(d) Pantom MRI

Gambar 1. Alat dan bahan

digunakan pada penelitian. Merek A memiliki spesifikasi: Gradien 33 mT/m, diameter 60 cm, tahun produksi 2015, sedangkan instalasi alat pada tahun 2019. Merek B memiliki spesifik: Gardien 33 mT/m, diameter 60 cm, tahun produksi 2000, sedangkan instalasi alat pada tahun 2015 Pengukuran SNR menggunakan *software Image-J* dengan melakukan region of interest (ROI) dengan ukuran 5 mm² pada hasil citra dari beberapa variasi sequence yaitu FLAIR, DWI dan T2* GRE.

Pantom yang digunakan untuk pengukuran SNR pada kedua merek modalitas MRI dengan material artifisial khusus yang sama dengan jaringan tubuh manusia yang ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk menentukan SNR, maka dilakukan pengukuran dengan membandingkan hasil mean terhadap standar deviasi yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$SNR = \frac{Mean\ ROI}{Standar\ Deviasi\ ROI} \quad (1)$$

Kemudian untuk mengetahui adakah pengaruh usia instalasi modalitas MRI 1.5 Tesla terhadap SNR. Maka, dilakukan uji *independent sample t-test* dengan membandingkan nilai rata-rata SNR pada merek A dan B. Dengan nilai p-value > 0.05, maka tidak terdapat pengaruh usia instalasi modalitas MRI 1.5 Tesla terhadap SNR. Sedangkan, nilai p-value <0.05, maka ada pengaruh usia instalasi modalitas MRI 1.5 Tesla terhadap SNR.

HASIL PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan akuisisi sebanyak 10 citra untuk setiap sequence, yaitu FLAIR, DWI, dan T2*GRE, pada pesawat MRI merek A dan merek B dengan kekuatan medan magnet 1,5 Tesla. Seluruh citra diperoleh menggunakan parameter standar (default) yang tersedia pada masing-masing perangkat MRI tanpa dilakukan penyesuaian atau penyamaan parameter antar merek, tanpa adanya perubahan parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter pada merek A dan B

Parameter	Sequence					
	FLAIR		DWI		T2* GRE	
	Merek A	Merek B	Merek A	Merek B	Merek A	Merek B
TR	8500ms	8500ms	67400ms	3048ms	480ms	693ms
TE	130ms	120ms	80ms	89ms	15ms	23ms
Time Scan	02.25	03.50	01.01	00.37	01.51	03.47
Relative SNR	100	100	93	102	100	100
FOV	240mm	230mm	240mm	230mm	230mm	230mm
Slice	24	22	24	22	22	22
Slice Thickness	5mm	5mm	5mm	5mm	5mm	5mm
Bandwidth	31.25 hz	301.2 hz	250 hz	18.9 hz	22.73 hz	108.7 hz
Voxel	0.8x1.5x5.0	0.69x1.1x5	1.91x1.5x5.0	1.5x2.2x5	0.7x1.5x5.0	0.90x1.12x5
NSA/NEX	1	2	2	1	1	1

Pada Tabel 1 menunjukan perbandingan parameter akuisisi yang digunakan pada pesawat MRI merek A dan merek B untuk setiap sequence. Berdasarkan tabel tersebut variasi pada penggunaan parameter menunjukkan bahwa masing-masing perangkat memiliki karakteristik pengaturan standar yang berbeda. Evaluasi kualitas citra selanjutnya dilakukan melalui pengukuran nilai SNR dengan menghitung nilai mean dan standar deviasi, yang kemudian dianalisis menggunakan uji statistik *Independent Samples T-Test* seperti yang ditunjukkan pada Table 2.

Tabel 2. Hasil SNR dan uji *independent sample t-test*

Sequence	SNR		p-value
	Merek A (Instalasi modalitas 2019)	Merek B (Instalasi modalitas 2015)	
FLAIR	102.8	65.8	0.00
DWI	63.4	54.3	0.04
T2*GRE	107.1	45.2	0.00

Pada Tabel 2 menunjukan nilai rata-rata SNR pada sequence FLAIR pada MRI merek A lebih tinggi dibandingkan MRI merek B, yaitu masing-masing sebesar 102,8 dan 65,8. Pada sequence DWI, nilai rata-rata SNR MRI merek A sebesar 63,4, sedangkan MRI merek B sebesar 54,3. Sementara itu, pada sequence T2*GRE, nilai rata-rata SNR MRI merek A sebesar 107,1 dan MRI merek B sebesar 45,2. Hasil analisis statistik menggunakan uji *Independent Samples T-Test* menunjukkan nilai signifikansi (p-value) sebesar 0,000 pada sequence FLAIR, 0,04 pada sequence DWI, dan 0,000 pada sequence T2*GRE. Nilai p-value yang lebih kecil

dari 0,05 menunjukkan adanya perbedaan nilai SNR yang bermakna secara statistik antara pesawat MRI merek A dan merek B pada seluruh sequence yang diuji.

PEMBAHASAN

Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan nilai rata-rata SNR pada *sequence* FLAIR, DWI, dan T2GRE antara pesawat MRI merek A dan merek B. Secara umum, nilai SNR yang diperoleh pada merek A lebih tinggi dibandingkan dengan merek B pada seluruh sequence yang dianalisis. Perbedaan tersebut diperkuat oleh hasil analisis statistik menggunakan uji Independent *Samples T-Test* yang menghasilkan nilai *p-value* sebesar 0,000 pada sequence FLAIR, 0,04 pada sequence DWI, dan 0,000 pada sequence T2GRE. Nilai *p-value* yang lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa perbedaan nilai SNR antar kedua perangkat MRI tersebut bersifat bermakna secara statistik dan mempertimbangkan faktor teknis dan karakteristik operasional masing-masing modalitas MRI.

Perbedaan nilai *signal to noise ratio* (SNR) yang diperoleh pada penelitian ini berkaitan dengan variasi parameter akuisisi, khususnya *repetition time* (TR) dan *echo time* (TE) yang berperan dalam proses pembentukan sinyal MRI. Nilai TR menentukan tingkat pemulihan magnetisasi longitudinal sebelum pulsa eksitasi berikutnya diberikan, sehingga TR yang lebih pendek menyebabkan magnetisasi belum sepenuhnya kembali ke keadaan setimbang dan menghasilkan kontribusi sinyal yang relatif lebih besar. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan intensitas sinyal yang diterima dan berdampak pada nilai SNR. Selain itu, nilai TE memengaruhi besarnya peluruhan magnetisasi transversal akibat relaksasi T2*. Penggunaan TE yang lebih pendek dapat membatasi kehilangan sinyal sebelum proses pembacaan, sehingga amplitudo sinyal yang terdeteksi tetap lebih tinggi. Secara teoritis, kombinasi pengaturan TR dan TE yang berbeda akan menghasilkan karakteristik sinyal yang berbeda pula pada setiap perangkat MRI (Tanjung et al., 2013).

Selanjutnya menurut Dwi Rochmayanti bahwa semakin tinggi nilai NEX yang digunakan, semakin tinggi pula nilai SNR yang dapat diperoleh. Penambahan NEX akan meningkatkan jumlah sinyal yang terakumulasi dari pengulangan akuisisi tersebut. Dengan demikian, SNR akan meningkat karena sinyal yang terdeteksi menjadi lebih besar. Namun, peningkatan nilai NEX juga akan berdampak pada semakin lamanya waktu pemeriksaan MRI (Rochmayanti et al., 2013). Selain itu, menurut Muhammad Raizal Rais menemukan informasi bahwa semakin besar nilai *bandwidth* yang digunakan, maka nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) akan semakin rendah. Hal ini disebabkan semakin besar *bandwidth* yang digunakan, maka *noise* yang masuk ke dalam sistem juga akan semakin besar, sehingga menyebabkan penurunan nilai SNR. Sebaliknya, penggunaan *bandwidth* yang optimal akan menghasilkan nilai SNR yang optimal (Rais et al., 2018).

Selain perbedaan parameter yang digunakan, jenis coil serta tahun produksi pesawat MRI yang digunakan juga turut mempengaruhi SNR pada citra yang dihasilkan pada kedua merek modalitas tersebut adalah head coil. Namun, terdapat perbedaan jumlah *channel* pada coil yang digunakan. Untuk merek A, head coil yang digunakan memiliki *channel* 16, sedangkan untuk merek B, head coil yang digunakan hanya memiliki *channel* 8. Semakin banyak jumlah *channel* yang digunakan pada coil MRI, maka nilai *Signal to Noise Ratio* akan semakin tinggi, karena lebih banyak elemen penerima yang dapat menangkap sinyal. Hal ini terjadi karena dengan lebih banyak *channel*, coil dapat menangkap sinyal yang lebih banyak, sehingga menghasilkan SNR yang lebih baik (Dietrich et al., 2007). Oleh karena itu, pada penelitian ini, merek A dengan *channel* coil 16 memiliki nilai SNR yang lebih tinggi dibandingkan merek B yang hanya mempunyai *channel* coil 8.

Tahun produksi yang digunakan juga berbeda antara merek A dan merek B. Dimana Merek A diproduksi pada tahun 2015 dan diinstal di rumah sakit pada tahun 2019, sedangkan

Merek B diproduksi pada awal tahun 2000-an dan diinstal pada tahun 2015. Perbedaan tahun produksi dan lama penggunaan kedua perangkat MRI ini dapat mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan. Umumnya, tahun produksi perangkat MRI dapat mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan. Perangkat MRI yang lebih baru cenderung menghasilkan kualitas citra yang lebih baik dibandingkan perangkat yang lebih tua. Hal ini disebabkan perkembangan teknologi dan komponen-komponen penyusunnya seperti *hardware* dan *software*. Selain itu, usia dan durasi pemanfaatan atau penggunaan MRI juga dapat mengakibatkan berkurangnya kualitas citra secara keseluruhan. Peralatan elektronik seperti MRI memiliki umur atau masa pakai (*lifetime*) yang terbatas, biasanya sekitar 15 tahun. Setelah melewati batas usia tersebut, MRI akan dinyatakan *End Of Support* (EOS) oleh pabrik, dan komponen-komponen *hardware* maupun *software* nya akan semakin sulit untuk dipertahankan kualitasnya (European Society of Radiology (ESR), 2014).

Keterbatasan dalam penelitian ini yaitu tidak melakukan perubahan atau penyesuaian pada parameter-parameter *sequence* yang digunakan untuk merek A dan merek B. Peneliti hanya memanfaatkan pengaturan scan standar yang tersedia pada masing-masing perangkat MRI untuk melakukan pengukuran kualitas citra. Hal ini berarti ada kemungkinan terdapat perbedaan dalam parameter-parameter seperti TR (*Repetition Time*), TE (*Echo Time*), NEX (*Number of Excitations*), matriks, *field of view* (FOV), dan ketebalan irisan (*Slice Thickness*) yang digunakan pada kedua merek MRI tersebut. Perbedaan dalam parameter-parameter ini dapat mempengaruhi perbandingan kualitas citra yang diperoleh dari masing-masing merek. Dengan kata lain, peneliti tidak menyeragamkan pengaturan parameter scan pada kedua jenis perangkat MRI yang digunakan. Hal ini dapat menjadi keterbatasan dalam penelitian ini. Selain itu, perlu melakukan pemeriksaan pada file DICOM dengan lebih teliti. Sebab perbedaan matriks, voxel, ukuran file dan mode DICOM *losses* atau *lossy* dapat menyebabkan perubahan pada pengukuran SNR.

SIMPULAN

Hasil penelitian untuk nilai SNIR pada *sequence* FLAIR untuk merek A 102.8, sedang merek B 65.8. Nilai SNR Pada *sequence* DWI untuk merek A 63.4, sedangkan merek B 54.3. Nilai SNR Pada *sequence* T2*GRE untuk merek A 107.1, sedangkan merek B 45.2. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh faktor usia instalasi modalitas terhadap SNR pada setiap *sequence* FLAIR, DWI dan T2* GRE dengan $p\text{-value} < 0.05$. Perbedaan tahun produksi dan lama penggunaan MRI dapat memengaruhi kualitas citra. Perangkat yang lebih baru biasanya menghasilkan citra lebih baik karena peningkatan teknologi *hardware* dan *software*. Sebaliknya, MRI yang sudah lama digunakan cenderung mengalami penurunan performa karena masa pakainya terbatas, umumnya sekitar 15 tahun.

SARAN

Dari hasil temuan ini diharapkan pengujian lebih lanjut dengan menggunakan fantom spesifik untuk kualitas citra dan melakukan kontrol pada variabel yang dapat mempengaruhi nilai SNR.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyaningrum, D. (2020). et al , 2004). *Valuasi Penggunaan Sequence T1, T2, Dan Susceptibility Weighted Imaging (SWI) Pada Kasus Perdarahan Otak Kronis*, 1–5.
- Dietrich, O., Raya, J. G., Reeder, S. B., Reiser, M. F., & Schoenberg, S. O. (2007). Measurement of signal-to-noise ratios in MR images: Influence of multichannel coils, parallel imaging, and reconstruction filters. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 26(2), 375–385. doi: 10.1002/jmri.20969

- European Society of Radiology (ESR). (2014). Renewal of radiological equipment. *Insights into Imaging*, 5(5), 543–546. doi: 10.1007/s13244-014-0345-1
- Horowitz, A. L. (n.d.). *FHB (Radiology golden books)* (Third edit).
- Maulida, N., Susanto, E., & Murniati, E. (2019). Prosedur Pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (Mri) Brain Perfusi Dengan Metode Arterial Spin Labeling (Asl) Pada Pasien Tumor. *JRI (Jurnal Radiografer Indonesia)*, 2(1), 48–58. doi: 10.55451/jri.v2i1.33
- Mehan, W. A., González, R. G., Buchbinder, B. R., Chen, J. W., Copen, W. A., Gupta, R., Hirsch, J. A., Hunter, G. J., Hunter, S., Johnson, J. M., Kelly, H. R., Larvie, M., Lev, M. H., Pomerantz, S. R., Rapalino, O., Rincon, S., Romero, J. M., Schaefer, P. W., & Shah, V. (2014). Optimal brain MRI protocol for new neurological complaint. *PLoS ONE*, 9(10). doi: 10.1371/journal.pone.0110803
- Muhammed, E. (2014). MR Physics, Patient Positioning and Protocols. In Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents.
- Muzamil, A. (2019). Optimalisasi citra axial sequence t2 GRE dengan variasi bandwidth dan TE pada MRI shoulder untuk mengurangi susceptibility artifacts dan chemical shift. *Jurnal Of Health*, 5, 40–49.
- Rais, M. R., & Darmini, D. (2018). Effect of Receive Bandwidth'S Variation To Signal To Noise Ratio (Snr) and Contrast To Noise Ratio (Cnr) on Mri Examination of Cervical With T2 Weighted Fast Spin Echo Sequenc Hernia Nucleus Pulposus (Hnp) Case. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 4(2), 98. doi: 10.31983/jimed.v4i2.4009
- Rochmayanti, D., Widodo, T. S., & Soesanti, I. (2013). Analisis Perubahan Parameter Number of Signals Averaged (NSA) Terhadap Peningkatan SNR dan Waktu Pencitraan pada MRI. *Jnteti*, 2(4), 37–45.
- Susanto, F., Santoso, G., & Abimanyu, B. (2018). Perbedaan Pembobotan T2 Turbo Spin Echo (Tse) Mri Brain Potongan Axial Antara Penggunaan Sensitivity Encoding (Sense) Dengan Tanpa Sense : Evaluasi Pada Signal To Noise Ratio (Snr) Dan Scan Time. *JRI (Jurnal Radiografer Indonesia)*, 1(1), 30–36. doi: 10.55451/jri.v1i1.8
- Tanjung, A., Prastowo, A., & Setiabudi, W. (2013). Korelasi Nilai Time Repetition (Tr) Dan Time Echo (Te) Terhadap Signal To Noise Ratio (Snr) Pada Citra Mri. *Berkala Fisika*, 16(4), 103–110.
- Wardlaw, J., Brindle, W., Casado, A., Shuler, K., Henderson, M., Thomas, B., Macfarlane, J., Maniega, S., Lymer, K., Morris, Z., Pernet, C., Nailon, W., Ahearn, T., Mumuni, A. N., Mugruza, C., Mclean, J., Chakirova, G., Tao, Y. T., Simpson, J., ... Weir, N. (2012). *A systematic review of the utility of 1 . 5 versus 3 Tesla magnetic resonance brain imaging in clinical practice and research. June.* doi: 10.1007/s00330-012-2500-8
- Wedayanti, L., Sudiyono, & Baskoro, N. (2019). Uji Quality Control Pesawat Magnetic Resonance Imaging Siemens Magnetom Concerto 0,2 Tesla di Instalasi Radiologi RSUD Dr Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 5, 74.

- Westbrook, C., Roth, C., & Talbot, J. (2011). MRI in Practice Fourth Edition. In Journal of Chemical Information and Modeling (4th ed., Vol. 53, Issue 9).
- Wood, D. A., Kafiabadi, S., Busaidi, A. Al, Guilhem, E., Montvila, A., Lynch, J., Townend, M., Agarwal, S., Mazumder, A., Barker, G. J., Ourselin, S., Cole, J. H., & Booth, T. C. (2022). Accurate brain-age models for routine clinical MRI examinations. *NeuroImage*, 249(November 2021). doi: 10.1016/j.neuroimage.2022.118871