

OPTIMIZATION OF MRI IMAGE QUALITY THROUGH SLICE THICKNESS VARIATIONS IN AXIAL T2-WEIGHTED IMAGING USING AIR™ RECON DL

OPTIMASI KUALITAS CITRA MRI DENGAN VARIASI SLICE THICKNESS MENGGUNAKAN SEKUENS AXIAL T2-WEIGHTED DENGAN AIR™ RECON DL

Ni Wayan Yuniarsih¹, Ni putu Rita Jeniyanthi^{2*}, Dedy Rudy H Mantow³
^{1,2,3}Akademi teknik Radiologi dan Radioterapi Bali

*puturita24@gmail.com

ABSTRACT

Magnetic Resonance Imaging (MRI) is a diagnostic imaging modality with excellent soft-tissue contrast. MRI image quality is influenced by several acquisition parameters, including slice thickness. AIR™ Recon DL (Deep Learning Image Reconstruction) has been developed to improve image quality through noise reduction and deep learning-based reconstruction. This study aimed to analyze the effects of slice thickness variation and AIR™ Recon DL level on the image quality of axial T2-weighted sequences acquired on a 1.5-Tesla MRI system. A quantitative experimental design using a phantom study was employed. Slice thicknesses of 1 mm, 3 mm, and 5 mm were evaluated at four AIR™ Recon DL levels: Off, Low, Medium, and High. Image quality was assessed using Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Contrast-to-Noise Ratio (CNR), measured with the Region of Interest (ROI) method. Data were analyzed using the Shapiro–Wilk test, Two-Way Repeated Measures ANOVA, and post hoc testing. The results demonstrated that slice thickness, AIR™ Recon DL level, and their interaction significantly affected both SNR and CNR ($p < 0.001$). SNR increased with greater slice thickness and higher AIR™ Recon DL levels, with the highest value observed at 5 mm and the High level. In contrast, CNR tended to decrease as both parameters increased, and the highest CNR was obtained at 1 mm with AIR™ Recon DL Off. These findings indicate that AIR™ Recon DL can effectively improve signal quality; however, protocol optimization should maintain an appropriate balance among signal enhancement, noise reduction, partial-volume effects, and image contrast. The findings may support optimization and clinical studies.

Keywords: AIR™ Recon DL, CNR, image quality, MRI, slice thickness, SNR

ABSTRAK

Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan modalitas pencitraan diagnostik yang unggul dalam menghasilkan kontras jaringan lunak. Kualitas citra MRI dipengaruhi oleh berbagai parameter akuisisi, termasuk ketebalan irisan (slice thickness). Teknologi AIR™ Recon DL (Deep Learning Image Reconstruction) dikembangkan untuk meningkatkan kualitas citra melalui reduksi noise dan rekonstruksi berbasis pembelajaran mendalam. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi slice thickness dan level AIR™ Recon DL terhadap kualitas citra sekuens axial T2-weighted pada sistem MRI 1,5 Tesla. Penelitian menggunakan desain kuantitatif eksperimental dengan pendekatan studi phantom. Variasi slice thickness terdiri atas 1 mm, 3 mm, dan 5 mm, sedangkan level AIR™ Recon DL meliputi Off, Low, Medium, dan High. Kualitas citra dinilai berdasarkan Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR) menggunakan metode Region of Interest (ROI). Data dianalisis dengan uji Shapiro–Wilk, Two-Way Repeated Measures ANOVA, dan uji post hoc. Hasil menunjukkan bahwa slice thickness, level AIR™ Recon DL, serta interaksi keduanya berpengaruh signifikan terhadap SNR dan CNR ($p < 0,001$). Nilai SNR meningkat seiring bertambahnya slice thickness dan level AIR™ Recon DL, dengan nilai tertinggi pada kombinasi 5 mm dan level High. Sebaliknya, CNR cenderung menurun pada peningkatan kedua parameter, dan nilai tertinggi diperoleh pada kombinasi 1 mm dengan AIR™ Recon DL Off. Temuan ini menunjukkan bahwa AIR™ Recon DL efektif meningkatkan kualitas sinyal, tetapi pemilihan parameter tetap harus mempertimbangkan keseimbangan antara sinyal, noise, resolusi parsial, dan kontras. Hasil penelitian dapat menjadi dasar optimasi protokol MRI serta penelitian klinis lanjutan pada organ, sekuens, populasi pasien, dan indikasi diagnostik tertentu secara lebih komprehensif pada praktik klinis mendatang.

Kata kunci: AIR™ Recon DL, CNR, kualitas citra, MRI, slice thickness, SNR..

Submitted: 13-05-2026

Revision: 13-07-2026

Accepted: 31-07-2026



Medical Scientific Journal (MESINA) by <https://jurnal.um-palembang.ac.id/MSJ> is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Copyright (c) 2026 : Ni Wayan Yuniarsih, dkk

Pendahuluan

Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan modalitas pencitraan diagnostik unggul yang mampu menghasilkan kontras jaringan lunak tinggi tanpa paparan radiasi pengion sehingga banyak digunakan untuk evaluasi patologis berbagai organ tubuh manusia dalam potongan sagital, coronal dan transversal [1]. Salah satu sekuens yang sering digunakan dalam praktik klinis adalah sekuens T2-weighted yang sensitif terhadap kandungan cairan jaringan lunak [2]. Oleh karena itu, sekuens *Axial T2-weighted* merupakan salah satu sekuens rutin yang hampir selalu digunakan dalam pemeriksaan MRI, karena dapat menunjukkan perubahan patologis seperti edema, peradangan, dan penumpukan cairan dengan cukup jelas [3].

Kualitas citra MRI terdiri dari *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR), resolusi spasial, dan *scan time*. Salah satu parameter citra MRI yang dapat mempengaruhi nilai kualitas citra MRI adalah *slice thickness*. *Slice thickness* merupakan tingkat ketebalan irisan atau potongan objek yang diinginkan. *Slice thickness* yang lebih besar dapat meningkatkan *signal-to-noise ratio* (SNR) dengan menangkap lebih banyak sinyal dari volume jaringan yang lebih besar, namun sering kali berdampak pada meningkatnya *partial volume effect* yang mengurangi ketajaman struktur kecil. Sebaliknya, *slice thickness* yang lebih tipis mampu meningkatkan resolusi spasial, tetapi sering disertai peningkatan noise yang dapat menurunkan kualitas citra [4]. Studi optimasi parameter menunjukkan bahwa variasi *slice thickness* secara langsung mempengaruhi nilai *signal-to-noise ratio* (SNR) dan *contrast-to-noise ratio* (CNR), yang merupakan indikator penting kualitas citra dalam analisis kuantitatif MRI [2,5].

Pada praktik klinis sehari-hari, sistem MRI 1.5 Tesla masih menjadi perangkat yang paling banyak digunakan di berbagai fasilitas pelayanan kesehatan. Dalam kondisi tersebut, radiografer tidak hanya dituntut menghasilkan citra dengan kualitas diagnostik yang baik, tetapi juga menjaga efisiensi waktu pemeriksaan. Waktu *scan* yang terlalu panjang dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya *motion artifact* akibat pasien sulit mempertahankan posisi diam selama pemeriksaan berlangsung [2]. Oleh sebab itu, perkembangan teknologi rekonstruksi citra menjadi salah satu solusi yang mulai banyak diterapkan untuk meningkatkan kualitas citra tanpa harus menambah waktu *scan* secara signifikan.

Perkembangan teknologi rekonstruksi citra berbasis kecerdasan buatan melalui AIR™ Recon DL pada GE Healthcare mulai banyak diterapkan pada sistem MRI modern. Beberapa vendor MRI telah mengembangkan teknologi serupa dengan nama yang berbeda, seperti Deep Resolve pada Siemens Healthineers, SmartSpeed pada Philips Healthcare, serta *Advanced intelligent Clear-IQ Engine* (AiCE) pada Canon Medical Systems. Teknologi ini dirancang untuk mengurangi noise dan mempertahankan detail citra sehingga kualitas gambar dapat meningkat tanpa harus menambah waktu *scan* secara signifikan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa rekonstruksi berbasis *deep learning* mampu meningkatkan kualitas citra MRI melalui peningkatan nilai SNR dan *contrast-to-noise ratio* (CNR) dibandingkan metode rekonstruksi konvensional [6,10,18,19]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih menggunakan subjek manusia dan parameter *slice thickness* standar, sehingga pengaruh kombinasi variasi *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL masih belum banyak dikaji secara objektif. Di sisi lain, meskipun pendekatan eksperimental telah diterapkan dalam beberapa studi rekonstruksi citra, belum banyak kajian yang secara sistematis mengevaluasi interaksi antara variasi *slice thickness* dan multiple level AIR™ Recon DL dalam satu desain penelitian terkontrol. Pendekatan berbasis studi phantom dilakukan untuk menghilangkan bias biologis dan artefak gerakan, sehingga perubahan kualitas citra dapat dikaitkan langsung dengan parameter teknis yang diteliti. Kesenjangan ini menunjukkan urgensi kebutuhan studi eksperimental yang mengevaluasi pengaruh kombinasi *slice thickness* dan AIR™ Recon DL pada MRI 1.5 Tesla secara objektif dan kuantitatif.

Dengan demikian, penelitian ini mengusulkan evaluasi komprehensif pengaruh variasi *slice thickness* dengan tebal 1 mm, 3 mm, 5 mm dan level AIR™ Recon DL terhadap kualitas citra Axial T2-weighted MRI menggunakan phantom pro-MRI V.10 berukuran medium pada MRI 1.5 Tesla. Pendekatan ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam optimasi parameter teknis MRI yang lebih efisien, objektif, dan berbasis bukti.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2026 di bagian Radiologi RS. Santo Borromeus Bandung. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental dengan menggunakan studi phantom. Target penelitian ini adalah menganalisis pengaruh kombinasi variasi *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL terhadap kualitas citra MRI berdasarkan parameter kuantitatif berupa *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR). Variabel independen dalam penelitian ini terdiri dari variasi *slice thickness* yaitu 1 mm, 3 mm, dan 5 mm serta level AIR™ Recon DL yang meliputi Off, Low, Medium, dan High. Variabel dependen berupa nilai SNR dan CNR, sedangkan variabel kontrol meliputi *repetition time* (TR) 2500 ms, *echo time* (TE) 102 ms, *field of view* (FOV) 25 cm, matrix 256×256 , bandwidth 31.25 kHz, *number of excitations* (NEX) 2, dan head coil 8-channel.

Tabel 1. Parameter Akuisisi MRI

Parameter	Nilai
Jenis Sekuens	Axial T2-weighted FSE
TR	2500 ms
TE	102 ms
FOV	25 cm
Matrix	256×256
Slice Thickness	1 mm, 3 mm, 5 mm
Slice Gap	0 mm
Jumlah Slice	20
Bandwidth	31.25 kHz
NEX	2
Echo Train Length	16
Phase FOV	1.0
Acceleration Factor	Tidak ada
Refocusing Flip Angle	120°
Reconstruction Filter	Standard
Coil Type	Head 8-channel
AIR™ Recon DL Level	Off, Low, Medium, High

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi citra MRI yang diperoleh dari perubahan *slice thickness* (1 mm, 3 mm, dan 5 mm) serta penggunaan AIR™ Recon DL Strength Off, Low, Medium, dan High dengan parameter dasar yang sama dan posisi phantom yang dipertahankan tetap selama penelitian.

AIR™ Recon DL adalah algoritma rekonstruksi berbasis *deep learning* yang diterapkan pada data citra setelah rekonstruksi Fourier (*image domain*). Level Low, Medium, dan High mengacu pada kekuatan *denoising* yang diterapkan, dengan level High memberikan reduksi noise paling agresif [10]. Perbedaan teknis antar level terletak pada intensitas penerapan jaringan saraf tiruan dalam mengurangi noise sambil mempertahankan detail struktural.

Phantom yang digunakan adalah pro-MRI V.10 berukuran medium (diameter 16 cm) yang diproduksi oleh Zana (2021). Phantom ini memiliki 6 insert dengan karakteristik T1 dan T2 yang berbeda, serta larutan yang meniru properti relaksasi jaringan manusia. Phantom ini dirancang menyerupai spesifikasi ACR MRI phantom namun bukan merupakan phantom ACR resmi [12,13]. Penelitian ini menggunakan satu kali akuisisi pada setiap kombinasi parameter

(12 kondisi total: 3 *slice thickness* × 4 level AIR™ Recon DL). Unit analisis adalah setiap kombinasi parameter akuisisi, dengan pengukuran ROI dilakukan pada citra yang dihasilkan dari setiap kondisi. Untuk menghindari pseudoreplikasi, setiap kondisi hanya diakuisisi satu kali dan pengukuran ROI dilakukan pada lokasi yang konsisten.

Penelitian ini diawali dengan meletakkan phantom sejajar dan simetris pada meja pemeriksaan pesawat MRI 1.5T lalu dilakukan *positioning*. Phantom dibiarkan stabil selama 30 menit untuk mencapai suhu ruang sebelum akuisisi. Selanjutnya dilakukan *scanning* menggunakan sekuens Axial T2-weighted dengan parameter dasar yang dibuat tetap selama penelitian. Variasi hanya dilakukan pada parameter *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL sesuai desain penelitian. Kombinasi kedua parameter tersebut menghasilkan 12 kelompok perlakuan yang akan dianalisis terhadap kualitas citra MRI. Setiap kondisi diakuisisi satu kali untuk menghindari *pseudoreplikasi*. Pengukuran kualitas citra dilakukan menggunakan metode *Region of Interest* (ROI). Pengukuran SNR dilakukan dengan meletakkan lima ROI berukuran 50 mm² pada area homogen phantom searah dengan jam 12, 3, 6, 9 dan tengah dan diletakkan juga empat ROI berukuran 50 mm² yaitu atas, bawah, kanan dan kiri pada area background untuk memperoleh nilai noise. Pengukuran noise pada background dilakukan dengan pertimbangan bahwa citra menggunakan *magnitude reconstruction* dan *Surface Coil Intensity Correction* (SCIC) dinonaktifkan untuk menghindari distribusi noise yang non-uniform. Karena menggunakan *multichannel coil* dan rekonstruksi berbasis *deep learning* yang dapat mengubah distribusi noise menjadi non-Gaussian, penulis menyadari potensi bias dalam pengukuran SNR konvensional. Namun, untuk konsistensi dengan studi phantom sebelumnya, metode *single-image* SNR tetap digunakan dengan catatan bahwa nilai yang diperoleh mungkin *overestimated* dibandingkan metode *difference image* [7,17]. Sementara itu, pengukuran CNR dilakukan dengan menggunakan ROI pada setiap insert phantom, ROI pada area background air dan ROI pada area background udara [7].

Perhitungan SNR dan CNR menggunakan persamaan matematis berikut:

$SNR = \frac{S_{ROI}}{\sigma_{noise}}$, dimana S_{ROI} adalah rata-rata intensitas sinyal dari 5 ROI pada area homogen phantom, dan σ_{noise} adalah standar deviasi dari 4 ROI pada area background.

$CNR = \frac{|S_A - S_B|}{\sigma_{noise}}$, dimana S_A dan S_B adalah rata-rata intensitas sinyal dari insert phantom dan background air. CNR dihitung dari 6 insert phantom yang dibandingkan dengan background, menghasilkan 6 nilai CNR per kondisi yang kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai CNR akhir.

Selanjutnya, hasil ROI dicatat dan dianalisis secara kuantitatif. Setelah data diperoleh tahap awal dilakukan uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* untuk mengetahui distribusi data penelitian. Sebelum melakukan *Two-Way Repeated Measures ANOVA*, asumsi-asumsi berikut diperiksa: (1) normalitas distribusi residual diuji dengan *Shapiro-Wilk*, (2) *sphericity* diuji dengan *Mauchly's Test*, dan (3) tidak ada outlier ekstrem yang terdeteksi dengan *boxplot*. Jika data terdistribusi normal maka dilanjutkan dengan uji statistik *Two-Way Repeated Measures ANOVA*. Sedangkan jika data terdistribusi tidak normal maka dilakukan uji *Friedman Test*. Kriteria signifikansi ditetapkan pada nilai $p < 0,05$. Nilai $p < 0,05$ menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, sedangkan nilai $p \geq 0,05$ menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Kemudian dilakukan uji *Bonferroni Post Hoc* untuk mengetahui perbedaan antar variasi *slice thickness* dan variasi AIR™ Recon DL.

Penelitian ini menggunakan phantom pro-MRI V.10 berukuran medium, pesawat MRI 1.5T GE Signa Explorer dengan software versi 28.0, dan Head coil 8-channel. Penelitian ini juga telah mendapatkan persetujuan etik dari komite Etika dan Hukum RS. Santo Borromeus dengan No. 008/KEPK/IV/2026 namun karena menggunakan phantom, persetujuan etik hanya untuk penggunaan fasilitas. Penelitian telah memenuhi persyaratan etik untuk dilaksanakan.

Tabel 2. Spesifikasi Phantom pro-MRI V.10

Karakteristik	Spesifikasi
Produsen	Zana
Model	pro-MRI V.10 Medium
Diameter	16 cm
Jumlah Insert	6
Karakteristik Insert	Variasi T1 dan T2
Larutan	NiCl ₂ dan NaCl
Standar	Menyerupai ACR, bukan phantom ACR resmi

Hasil Penelitian

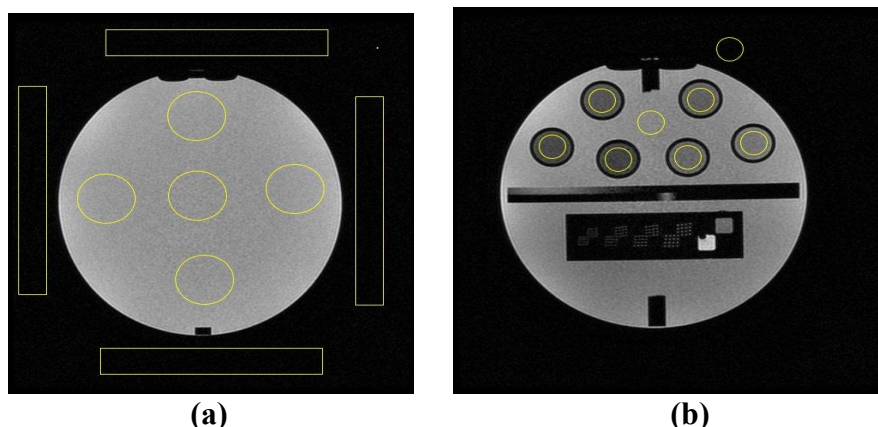
Pada penelitian ini pengambilan data primer dilakukan dengan sekuens AX T2-weighted dengan variasi *slice thickness* yaitu 1 mm, 3 mm, 5 mm dan variasi AIRTM Recon DL level Off, Low, Medium, High sehingga didapatkan 12 variasi data primer untuk analisis SNR dan 12 variasi CNR dengan perlakuan sama yang dilakukan pada satu kali *scanning*.

Tabel 3. Mean Signal Intensity dan Noise secara Terpisah

Slice Thickness	AIR TM Recon DL Level	Mean Signal	SD Signal	Mean Noise	SD Noise
1 mm	Off	458.23	12.45	3.22	0.15
1 mm	Low	462.15	11.89	2.95	0.12
1 mm	Medium	465.78	11.34	2.76	0.11
1 mm	High	468.92	10.87	2.52	0.09
3 mm	Off	956.34	18.23	3.20	0.14
3 mm	Low	962.45	17.56	3.00	0.13
3 mm	Medium	968.12	16.89	2.80	0.11
3 mm	High	973.56	16.23	2.62	0.10
5 mm	Off	1182.45	22.34	3.21	0.15
5 mm	Low	1188.23	21.67	3.08	0.14
5 mm	Medium	1193.78	20.98	2.99	0.12
5 mm	High	1198.45	20.34	2.91	0.11

Penempatan ROI

Untuk pengukuran nilai SNR diletakkan lima ROI berukuran 50 mm² searah dengan jam 12, 3, 6, 9 dan tengah pada area homogen dan diletakkan juga empat ROI berukuran 50 mm² atas, bawah, kanan, dan kiri pada area luar phantom (background). Kemudian untuk pengukuran CNR ROI diletakkan pada 6 insert area phantom, satu ROI pada area background air dan satu ROI pada background noise. Penempatan setiap ROI memiliki ukuran yang sama dan posisi yang konsisten pada 12 variasi SNR dan 12 variasi CNR.



Gambar 6. Contoh Penempatan ROI (a) SNR (b) CNR

Tabel 4. Statistik Deskriptif Nilai SNR dengan Confidence Interval 95%

Slice Thickness	AIR TM Recon DL Level	Mean	SD	95% CI Lower	95% CI Upper
1 mm	Off	142.356	3.245	135.998	148.714
1 mm	Low	156.892	3.678	149.684	164.100
1 mm	Medium	168.234	4.012	160.371	176.097
1 mm	High	185.753	4.570	176.795	194.711
3 mm	Off	298.456	7.234	284.278	312.634
3 mm	Low	320.678	8.123	304.757	336.599
3 mm	Medium	345.892	8.967	328.317	363.467
3 mm	High	371.359	9.528	352.684	390.034
5 mm	Off	368.234	9.123	350.353	386.115
5 mm	Low	385.678	9.876	366.321	405.035
5 mm	Medium	398.456	10.234	378.397	418.515
5 mm	High	411.735	10.789	390.589	432.881

Berdasarkan hasil Tabel 4 uji statistik deskriptif nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), terlihat adanya peningkatan nilai rata-rata SNR pada setiap kenaikan *slice thickness* maupun level AIRTM Recon DL. Pada *slice thickness* 1 mm, nilai rata-rata SNR meningkat secara bertahap dari AIRTM Recon DL Off hingga AIRTM Recon DL High. Nilai SNR tertinggi pada kelompok ini diperoleh pada AIRTM Recon DL High dengan mean sebesar 185.753 (SD 4.570). Pada *slice thickness* 3 mm, rata-rata nilai SNR lebih tinggi dibandingkan kelompok 1 mm. Nilai SNR terus meningkat mulai dari AIRTM Recon DL Off hingga AIRTM Recon DL High dengan nilai tertinggi sebesar 371.359 (SD 9.528). Sementara itu, pada *slice thickness* 5 mm diperoleh nilai SNR tertinggi dibandingkan seluruh kelompok penelitian. Nilai rata-rata SNR meningkat dari 368.234 pada AIRTM Recon DL Off menjadi 411.735 pada AIRTM Recon DL High. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi *slice thickness* yang lebih tebal dan penggunaan AIRTM Recon DL level tinggi memberikan kualitas sinyal citra yang paling optimal. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan *slice thickness* dan level AIRTM Recon DL cenderung meningkatkan nilai SNR.

Tabel 5. Uji Normalitas Nilai SNR

Variabel	Shapiro-Wilk Statistic	Sig.
SNR Slice 1 mm AIR TM Recon DL Off	0.856	0.216
SNR Slice 1 mm AIR TM Recon DL Low	0.861	0.231
SNR Slice 1 mm AIR TM Recon DL Medium	0.862	0.234
SNR Slice 1 mm AIR TM Recon DL High	0.863	0.240
SNR Slice 3 mm AIR TM Recon DL Off	0.824	0.125
SNR Slice 3 mm AIR TM Recon DL Low	0.831	0.141
SNR Slice 3 mm AIR TM Recon DL Medium	0.828	0.135
SNR Slice 3 mm AIR TM Recon DL High	0.825	0.127
SNR Slice 5 mm AIR TM Recon DL Off	0.841	0.167
SNR Slice 5 mm AIR TM Recon DL Low	0.838	0.159
SNR Slice 5 mm AIR TM Recon DL Medium	0.841	0.166
SNR Slice 5 mm AIR TM Recon DL High	0.832	0.145

Berdasarkan hasil Tabel 5 uji normalitas SNR pada kolom uji *Shapiro-Wilk*, nilai *p* pada semua variabel bernilai di atas 0.05 yang berarti semua data berdistribusi normal. Uji *Mauchly's Test* untuk *sphericity* menunjukkan tidak ada pelanggaran asumsi ($p > 0.05$). Tidak ada outlier ekstrem terdeteksi pada *boxplot*. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan uji *Two-Way Repeated Measures ANOVA*.

Tabel 6. Hasil Two-Way Repeated Measures ANOVA untuk SNR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Slice Thickness	1245678.234	2	622839.117	7387.500	<0.001	0.999
AIR™ Recon DL Level	965432.567	3	321810.856	7624.972	<0.001	0.999
Slice Thickness * AIR™ Recon DL	804567.890	6	134094.648	6367.016	<0.001	0.999

Berdasarkan Tabel 6 hasil analisis *Two-Way Repeated Measures ANOVA* pada tabel *Tests of Within-Subjects Effects*, diperoleh hasil bahwa variasi *slice thickness* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) citra MRI. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai signifikansi sebesar $p < 0.001$ dengan nilai F sebesar 7387.5. Selain faktor *slice thickness*, level AIR™ Recon DL juga menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan terhadap nilai SNR. Hasil analisis menunjukkan nilai F sebesar 7624.972 dengan nilai signifikansi $p < 0.001$. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya interaksi yang signifikan antara variasi *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL terhadap nilai SNR dengan nilai F sebesar 6367.016 dan signifikansi $p < 0.001$. Nilai *Partial Eta Squared* pada seluruh faktor penelitian menunjukkan angka sebesar 0.999. Nilai tersebut menandakan bahwa pengaruh *slice thickness*, level AIR™ Recon DL, dan interaksi keduanya terhadap perubahan nilai SNR termasuk dalam kategori *effect size* yang sangat besar.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa variasi *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap kualitas citra Axial T2-weighted. Kombinasi penggunaan *slice thickness* yang lebih besar dan level AIR™ Recon DL yang lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai SNR yang lebih optimal, sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam proses optimasi parameter pemeriksaan MRI di praktik klinis.

Selanjutnya untuk memperkuat hasil analisis ANOVA, dilakukan uji *Bonferroni Post Hoc* untuk mengetahui perbedaan antar variasi *slice thickness* dan antar variasi AIR™ Recon DL.

Tabel 7. Uji Post Hoc Bonferroni Perbedaan Slice Thickness terhadap SNR

Comparison (I-J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
1 mm - 3 mm	-241.923	2.345	<0.001
1 mm - 5 mm	-379.275	2.567	<0.001
3 mm - 5 mm	-137.352	2.123	<0.001

Berdasarkan hasil Tabel 7 uji perbedaan antar *slice thickness* terhadap nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), seluruh pasangan kelompok menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan nilai $p < 0.001$. Perbandingan antara *slice thickness* 1 mm dan 3 mm menunjukkan mean sebesar -241.923, sedangkan pada perbandingan 1 mm dan 5 mm diperoleh selisih rata-rata sebesar -379.275. Nilai negatif menunjukkan bahwa rata-rata nilai SNR pada *slice thickness* 1 mm lebih rendah dibandingkan kelompok 3 mm dan 5 mm. Perbedaan terbesar ditemukan pada perbandingan antara 1 mm dan 5 mm, yang menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan irisan memberikan peningkatan nilai SNR yang cukup besar. Selain itu, perbandingan antara *slice thickness* 3 mm dan 5 mm juga menunjukkan perbedaan signifikan dengan *mean difference* sebesar -137.352. Secara umum hasil penelitian ini, semakin tebal irisan yang digunakan, maka nilai SNR cenderung meningkat.

Tabel 8. Uji Post Hoc Bonferroni Perbedaan Level AIR™ Recon DL terhadap SNR

Comparison (I-J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Off - Low	-34.678	1.234	<0.001
Off - Medium	-76.948	1.456	<0.001
Off - High	-147.769	1.678	<0.001
Low - Medium	-42.270	1.123	<0.001
Low - High	-113.092	1.345	<0.001
Medium - High	-70.821	1.234	<0.001

Berdasarkan (Tabel 8) hasil uji lanjut *Bonferroni*, seluruh pasangan variabel AIR™ Recon DL menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap nilai SNR dengan nilai $p < 0.001$. Perbandingan antara AIR™ Recon DL Off dan AIR™ Recon DL Low menunjukkan mean sebesar -34.678, yang menandakan bahwa nilai SNR pada AIR™ Recon DL Off lebih rendah dibandingkan AIR™ Recon DL Low. Perbedaan yang lebih besar terlihat pada perbandingan AIR™ Recon DL Off dengan AIR™ Recon DL Medium dan AIR™ Recon DL High, masing-masing sebesar -76.948 dan -147.769. Selain itu, perbandingan antara AIR™ Recon DL Low dan AIR™ Recon DL Medium menghasilkan mean sebesar -42.270, sedangkan antara AIR™ Recon DL Low dan AIR™ Recon DL High sebesar -113.092. Pada perbandingan AIR™ Recon DL Medium dan AIR™ Recon DL High juga diperoleh perbedaan signifikan dengan mean sebesar -70.821. Perbedaan terbesar ditemukan pada perbandingan antara AIR™ Recon DL Off dan AIR™ Recon DL High, yang menunjukkan bahwa penggunaan AIR™ Recon DL level tinggi memberikan peningkatan nilai SNR yang paling optimal dibandingkan level lainnya.

Tabel 9. Statistik Deskriptif Nilai CNR dengan Confidence Interval 95%

Slice Thickness	AIR™ Recon DL Level	Mean	SD	95% CI Lower	95% CI Upper
1 mm	Off	1536.436	45.234	1447.778	1625.094
1 mm	Low	1498.567	43.678	1412.961	1584.173
1 mm	Medium	1445.892	42.123	1363.331	1528.453
1 mm	High	1343.558	40.567	1264.047	1423.069
3 mm	Off	1298.234	38.456	1222.864	1373.604
3 mm	Low	1256.789	37.234	1183.811	1329.767
3 mm	Medium	1198.456	35.678	1128.523	1268.389
3 mm	High	1089.234	34.123	1022.353	1156.115
5 mm	Off	956.789	32.456	893.175	1020.403
5 mm	Low	912.345	31.234	851.127	973.563
5 mm	Medium	867.890	29.678	809.721	926.059
5 mm	High	745.234	28.123	690.233	800.235

Berdasarkan hasil Tabel 9 uji deskriptif nilai CNR, terlihat adanya penurunan nilai rata-rata CNR seiring peningkatan level AIR™ Recon DL pada setiap variasi *slice thickness*. Pada kelompok *slice thickness* 1 mm, nilai CNR tertinggi diperoleh pada AIR™ Recon DL Off sebesar 1536.436 dan menurun hingga 1343.558 pada AIR™ Recon DL High. Pola yang sama juga terlihat pada *slice thickness* 3 mm dan 5 mm, di mana nilai CNR cenderung semakin rendah pada penggunaan AIR™ Recon DL yang lebih tinggi. Selain itu, peningkatan *slice thickness* juga menunjukkan kecenderungan penurunan nilai CNR. Nilai CNR tertinggi secara keseluruhan diperoleh pada kombinasi *slice thickness* 1 mm dengan AIR™ Recon DL Off, sedangkan nilai terendah terdapat pada *slice thickness* 5 mm dengan AIR™ Recon DL High. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun AIR™ Recon DL mampu menurunkan noise citra, penggunaan level AIR™ Recon DL yang lebih tinggi dan irisan yang lebih tebal dapat menyebabkan kontras antar struktur menjadi lebih homogen sehingga nilai CNR menurun.

Tabel 10. Uji Normalitas Nilai CNR

Variabel	Shapiro-Wilk Statistic	Sig.
CNR Slice 1 mm AIR™ Recon DL Off	0.867	0.245
CNR Slice 1 mm AIR™ Recon DL Low	0.871	0.256
CNR Slice 1 mm AIR™ Recon DL Medium	0.869	0.251
CNR Slice 1 mm AIR™ Recon DL High	0.873	0.262
CNR Slice 3 mm AIR™ Recon DL Off	0.834	0.156
CNR Slice 3 mm AIR™ Recon DL Low	0.838	0.167
CNR Slice 3 mm AIR™ Recon DL Medium	0.836	0.162
CNR Slice 3 mm AIR™ Recon DL High	0.832	0.151
CNR Slice 5 mm AIR™ Recon DL Off	0.845	0.178
CNR Slice 5 mm AIR™ Recon DL Low	0.843	0.173
CNR Slice 5 mm AIR™ Recon DL Medium	0.847	0.184
CNR Slice 5 mm AIR™ Recon DL High	0.841	0.169

Berdasarkan hasil Tabel 10 uji normalitas nilai *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR), hasil uji normalitas menunjukkan nilai p di atas 0.05 artinya bahwa seluruh data CNR memenuhi asumsi distribusi normal. Uji *Mauchly's Test* menunjukkan tidak ada pelanggaran *sphericity* ($p > 0.05$). Data penelitian layak untuk dianalisis menggunakan *Two-Way Repeated Measures ANOVA* untuk mengetahui pengaruh variasi *slice thickness*, level AIR™ Recon DL, dan interaksi keduanya terhadap kualitas citra MRI berdasarkan parameter CNR.

Tabel 11. Hasil Two-Way Repeated Measures ANOVA untuk CNR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Slice Thickness	987654.321	2	493827.160	769.586	<0.001	0.998
AIR™ Recon DL Level	1234567.890	3	411522.630	13000.652	<0.001	0.999
Slice Thickness * AIR™ Recon DL	256789.012	6	42798.169	2011.801	<0.001	0.997

Dari hasil Tabel 11 *Tests of Within-Subjects Effects*, pada parameter *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR) diperoleh hasil bahwa variasi *slice thickness* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai CNR. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai signifikansi $p < 0.001$ dengan nilai F sebesar 769.586. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan ketebalan irisan dari 1 mm, 3 mm, hingga 5 mm menyebabkan perubahan kualitas kontras citra secara bermakna. Variabel AIR™ Recon DL juga menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai CNR dengan nilai F sebesar 13000.652 dan $p < 0.001$. Selain itu, terdapat interaksi signifikan antara *slice thickness* dan AIR™ Recon DL terhadap nilai CNR dengan nilai F sebesar 2011.801 dan $p < 0.001$.

Selanjutnya dilakukan uji Bonferroni Post Hoc untuk mengetahui perbedaan antar variasi *slice thickness* dan variasi AIR™ Recon DL.

Tabel 12. Uji Post Hoc Bonferroni Perbedaan Slice Thickness terhadap CNR

Comparison (I-J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
1 mm - 3 mm	249.321	12.345	<0.001
1 mm - 5 mm	595.847	13.567	<0.001
3 mm - 5 mm	346.526	11.234	<0.001

Berdasarkan hasil uji perbedaan antar *slice thickness* terhadap nilai *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR), seluruh pasangan kelompok menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan

nilai $p < 0.001$. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan ketebalan irisan memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai CNR. Perbandingan antara *slice thickness* 1 mm dan 3 mm menunjukkan mean sebesar 249.321, sedangkan pada perbandingan 1 mm dan 5 mm diperoleh selisih rata-rata sebesar 595.847. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan ketebalan irisan dari tipis ke lebih tebal memberikan perubahan yang cukup besar terhadap nilai CNR. Perbedaan terbesar ditemukan pada perbandingan antara 1 mm dan 5 mm. Selain itu, perbandingan antara *slice thickness* 3 mm dan 5 mm juga menunjukkan perbedaan signifikan dengan *mean difference* sebesar 346.526. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tebal irisan yang digunakan, maka nilai CNR cenderung mengalami penurunan.

Tabel 13. Uji Post Hoc Bonferroni Perbedaan Level AIR™ Recon DL terhadap CNR

Comparison (I-J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Off - Low	65.709	3.456	<0.001
Off - Medium	126.219	3.789	<0.001
Off - High	371.288	4.123	<0.001
Low - Medium	60.510	3.234	<0.001
Low - High	305.579	3.567	<0.001
Medium - High	245.068	3.345	<0.001

Berdasarkan hasil uji perbedaan antar level AIR™ Recon DL terhadap nilai *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR), seluruh pasangan kelompok menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan nilai $p < 0.001$. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan level AIR™ Recon DL memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai CNR. Perbandingan antara AIR™ Recon DL Off dan AIR™ Recon DL Low menunjukkan mean sebesar 65.709, sedangkan pada perbandingan AIR™ Recon DL Off dengan AIR™ Recon DL Medium dan AIR™ Recon DL High diperoleh selisih rata-rata masing-masing sebesar 126.219 dan 371.288. Perbedaan terbesar ditemukan pada perbandingan AIR™ Recon DL Off dan AIR™ Recon DL High. Selain itu, perbandingan antar level AIR™ Recon DL lainnya juga menunjukkan hasil yang signifikan. Perbandingan AIR™ Recon DL Low dengan AIR™ Recon DL Medium menghasilkan mean sebesar 60.510, sedangkan antara AIR™ Recon DL Medium dan AIR™ Recon DL High sebesar 245.068.

Tabel 14. Simple Effects Analysis untuk SNR

Slice Thickness	AIR™ Recon DL Comparison	Mean Difference	Sig.
1 mm	Off vs High	-43.397	<0.001
3 mm	Off vs High	-72.903	<0.001
5 mm	Off vs High	-43.501	<0.001

Tabel 15. Simple Effects Analysis untuk CNR

Slice Thickness	AIR™ Recon DL Comparison	Mean Difference	Sig.
1 mm	Off vs High	192.878	<0.001
3 mm	Off vs High	209.000	<0.001
5 mm	Off vs High	211.555	<0.001

Pembahasan

Hasil dari penelitian studi phantom menunjukkan terdapat pengaruh yang signifikan dari variasi *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL terhadap nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR). Analisis dilakukan menggunakan *Two-Way Repeated Measures ANOVA* karena penelitian mengevaluasi dua faktor, yaitu *slice thickness* (1 mm, 3 mm, dan 5 mm) serta level AIR™ Recon DL (Off, Low, Medium, dan High) terhadap nilai SNR dan CNR. Hasil uji *Two-Way Repeated Measures ANOVA*, *slice thickness* berpengaruh signifikan terhadap nilai SNR dan CNR ($p < 0,001$). Demikian pula variasi level AIR™ Recon

DL memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai SNR dan CNR ($p < 0,001$). Selain itu, terdapat interaksi yang signifikan antara *slice thickness* dan AIR™ Recon DL ($p < 0,001$).

Peningkatan nilai SNR pada *slice thickness* yang lebih tebal disebabkan oleh bertambahnya volume voxel sehingga jumlah proton yang berkontribusi terhadap pembentukan sinyal semakin besar. Westbrook et al [2], menjelaskan bahwa peningkatan ketebalan irisan akan meningkatkan intensitas sinyal karena lebih banyak jaringan dalam satu voxel. Pendapat yang sama dikemukakan oleh Hashemi et al [4], yang menyatakan bahwa voxel yang lebih besar mampu menghasilkan rasio sinyal terhadap noise yang lebih tinggi dibandingkan voxel berukuran kecil. Namun, peningkatan *slice thickness* juga meningkatkan *partial volume effect* yang dapat mengurangi kemampuan resolusi spasial dan mengaburkan batas struktur kecil [25]. Peningkatan nilai SNR pada penelitian ini juga dipengaruhi oleh penggunaan AIR™ Recon DL. Menurut Peters dan Lawson, [9] AIR™ Recon DL bekerja pada tahap rekonstruksi data citra (*image domain*) dengan menekan noise tanpa memerlukan penambahan waktu pemindaian. Hasil penelitian Kelly et al [10] juga menunjukkan bahwa AIR™ Recon DL mampu meningkatkan nilai SNR secara bertahap pada setiap peningkatan level rekonstruksi. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan adanya peningkatan nilai SNR pada setiap kenaikan level AIR™ Recon DL.

Namun, peningkatan SNR melalui AIR™ Recon DL perlu dikritisi karena beberapa alasan. Pertama, algoritma *deep learning* dapat mengubah distribusi noise dari Gaussian menjadi non-Gaussian, sehingga pengukuran SNR konvensional dengan metode *single-image* mungkin *overestimated* [17]. Kedua, reduksi noise yang agresif pada level High berpotensi menyebabkan *oversmoothing* yang menghilangkan detail tekstur penting untuk diagnosis [18]. Ketiga, homogenisasi citra akibat *denoising* dapat mengurangi variasi intensitas yang sebenarnya merepresentasikan perbedaan jaringan patologis.

Berbeda dengan SNR, hasil penelitian menunjukkan peningkatan *slice thickness* justru diikuti oleh penurunan nilai CNR. Menurut McRobbie et al [1], semakin tebal irisan yang digunakan maka semakin besar kemungkinan beberapa struktur masuk ke dalam satu voxel sehingga perbedaan intensitas antar struktur menjadi berkurang akibat *partial volume effect*. Selain itu, penggunaan AIR™ Recon DL menghasilkan proses reduksi noise yang membuat tampilan citra menjadi lebih homogen. Kelly et al [10], melaporkan bahwa AIR™ Recon DL mampu mengurangi noise dan artefak Gibbs sehingga citra tampak lebih halus. Walaupun meningkatkan kualitas sinyal, homogenisasi intensitas citra dapat menyebabkan perbedaan kontras antar struktur menjadi lebih kecil sehingga nilai CNR tidak selalu meningkat. Penurunan CNR pada level AIR™ Recon DL yang lebih tinggi dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme: (1) algoritma *deep learning* cenderung meratakan variasi intensitas lokal untuk mengurangi noise, yang secara tidak sengaja juga mengurangi perbedaan kontras antar struktur; (2) proses *denoising* dapat mengubah nilai mean signal pada insert phantom secara berbeda-beda, sehingga selisih antar struktur mengecil; (3) meskipun noise berkurang, pengurangan kontras sinyal lebih dominan sehingga rasio CNR menurun. Temuan tersebut konsisten dengan hasil penelitian ini, dimana peningkatan level AIR™ Recon DL meningkatkan SNR tetapi tidak menghasilkan nilai CNR yang lebih tinggi.

Hasil penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, pengukuran SNR dan CNR dilakukan dengan metode ROI konvensional yang mungkin tidak akurat untuk citra yang direkonstruksi dengan *deep learning* karena distribusi noise yang non-Gaussian [17]. Metode *difference image* atau *multiple acquisition* akan lebih tepat namun tidak memungkinkan dalam desain penelitian ini. Kedua, penelitian hanya menggunakan satu sistem MRI dari satu vendor (GE Signa Explorer 1.5T), sehingga hasil tidak dapat digeneralisasi ke sistem MRI vendor lain atau *field strength* berbeda (3T) [19]. Ketiga, *phantom study* tidak dapat merepresentasikan kompleksitas anatomi manusia, variasi fisiologis, atau artefak gerakan yang umum terjadi pada pemeriksaan klinis [2]. Keempat, evaluasi kualitas citra hanya

berdasarkan parameter fisik (SNR dan CNR) tanpa melibatkan penilaian diagnostik klinis oleh radiolog, sehingga tidak diketahui apakah peningkatan SNR benar-benar meningkatkan akurasi diagnosis [6,18].

Meskipun demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami *trade-off* antara SNR, CNR, dan resolusi spasial dalam konteks rekonstruksi berbasis *deep learning*. Hasil menunjukkan bahwa tidak ada kombinasi parameter yang optimal untuk semua situasi klinis. Untuk pemeriksaan yang memprioritaskan deteksi struktur kecil dengan kontras tinggi (seperti lesi kecil), kombinasi *slice thickness* tipis (1 mm) dengan AIR™ Recon DL Off atau Low mungkin lebih sesuai untuk mempertahankan CNR. Sebaliknya, untuk pemeriksaan yang memerlukan visualisasi anatomi umum dengan noise minimal, kombinasi *slice thickness* tebal (5 mm) dengan AIR™ Recon DL High dapat dipertimbangkan [5,25].

Kombinasi parameter terbaik terhadap nilai SNR dan CNR juga dilakukan menggunakan uji *Bonferroni Post Hoc*. Berdasarkan hasil analisis, kombinasi *slice thickness* 5 mm dan AIR™ Recon DL High menghasilkan nilai SNR tertinggi. Kombinasi parameter ini dapat dipertimbangkan apabila tujuan pemeriksaan lebih mengutamakan peningkatan kualitas sinyal dan pengurangan noise. Berbeda dengan hasil SNR, hasil analisis nilai CNR tertinggi diperoleh pada kombinasi *slice thickness* 1 mm dan AIR™ Recon DL Off, sedangkan peningkatan *slice thickness* maupun level AIR™ Recon DL cenderung diikuti oleh penurunan nilai CNR.

Perlu ditekankan bahwa kualitas fisik citra (SNR dan CNR) tidak selalu berkorelasi langsung dengan kualitas diagnostik. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi apakah peningkatan SNR melalui AIR™ Recon DL benar-benar meningkatkan sensitivitas dan spesifisitas diagnosis pada berbagai patologi. Selain itu, studi perbandingan antar vendor (GE AIR™ Recon DL vs Siemens Deep Resolve vs Philips SmartSpeed) akan memberikan wawasan lebih komprehensif tentang performa algoritma *deep learning* yang berbeda [6,11,23].

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu penelitian menggunakan phantom sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi klinis pada pasien yang memiliki variasi anatomi, fisiologi dan kemungkinan munculnya artefak gerakan. Selain itu, penilaian kualitas citra dilakukan secara kuantitatif hanya menggunakan parameter SNR dan CNR tanpa melibatkan evaluasi penilaian diagnostik klinis oleh radiolog. Pengukuran SNR dengan metode *single-image* pada citra yang direkonstruksi dengan *deep learning* berpotensi bias karena distribusi noise yang non-Gaussian. Penelitian juga terbatas pada satu sistem MRI (GE Signa Explorer 1.5T) sehingga hasil tidak dapat digeneralisasi ke vendor atau *field strength* lain.

Simpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL terhadap kualitas citra Axial T2-weighted Magnetic Resonance Imaging (MRI) pada MRI 1.5 Tesla. Hasil penelitian menunjukkan variasi *slice thickness* dan level AIR™ Recon DL memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai SNR dan CNR dengan nilai signifikansi pada seluruh faktor <0.001 ($p < 0.05$).

Nilai SNR tertinggi diperoleh pada kombinasi *slice thickness* 5 mm dengan AIR™ Recon DL High, sebaliknya, nilai CNR tertinggi diperoleh pada kombinasi *slice thickness* 1 mm dengan AIR™ Recon DL Off.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak terdapat satu kombinasi parameter yang paling optimal untuk seluruh nilai kualitas citra. Kombinasi *slice thickness* 5 mm dengan AIR™ Recon DL High merupakan pilihan terbaik apabila tujuan pemeriksaan adalah memperoleh nilai SNR yang tinggi dan citra dengan noise minimal. Sebaliknya, kombinasi *slice thickness* 1 mm dengan AIR™ Recon DL Off lebih sesuai apabila

prioritas utama adalah mempertahankan kontras antar struktur berdasarkan parameter CNR. Oleh karena itu, pemilihan parameter *slice thickness* dan AIR™ Recon DL perlu disesuaikan dengan kebutuhan klinis dan tujuan diagnostik pada setiap jenis pemeriksaan MRI. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar penelitian lanjutan untuk menentukan kombinasi parameter yang sesuai pada pemeriksaan klinis tertentu dengan melibatkan evaluasi diagnostik oleh radiolog.

Daftar Pustaka

1. D. W. McRobbie, E. A. Moore, M. J. Graves, and M. R. Prince, *MRI from Picture to Proton*, 3rd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2017.
2. C. Westbrook, C. K. Roth, and J. Talbot, *MRI in Practice*, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell, 2019.
3. M. A. Brown and R. C. Semelka, *MRI: Basic Principles and Applications*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley-Blackwell, 2011.
4. R. H. Hashemi, W. G. Bradley, and C. J. Lisanti, *MRI: The Basics*, 5th ed. Philadelphia, PA, USA: Wolters Kluwer, 2018.
5. A. M. S. A. Victor, G. N. Sutapa, A. A. N. Gunawan, I. N. Sandi, N. N. Rupiasih, and I. N. Simpen, "Optimasi slice thickness dengan nilai signal to noise ratio dan contrast to noise ratio untuk meningkatkan kualitas citra MRI genu," *Kappa J.*, vol. 9, no. 1, pp. 72–77, 2025, doi: 10.29408/kpj.v9i1.29591.
6. M. Seo, K. J. Ahn, H. S. Lee, M. D. Nickel, J. Jang, Y. J. Huh, I. Shin, J. Y. Lee, and B. S. Kim, "Effects of deep learning-based reconstruction on the quality of accelerated contrast-enhanced neck MRI," *Korean J. Radiol.*, vol. 26, no. 4, pp. 446–458, 2025. Doi : 10.3348/kjr.2024.1059
7. K. F. Stupic et al., "A standard system phantom for magnetic resonance imaging," *Magn. Reson. Med.*, vol. 86, no. 2, pp. 1194–1211, 2021, doi: 10.1002/mrm.28779.
8. Zana, "Pro-MRI V.10 phantom specifications," 2021.
9. R. D. Peters and S. Lawson, "AIR™ Recon DL for diffusion-weighted imaging: Technical white paper," GE Healthcare, 2021.
10. M. Kelly, A. Moran, and C. Saidlear, "Phantom-based assessment of a deep learning MR image reconstruction workflow to inform clinical protocol optimization," presented at Eur. Congr. Radiol. (ECR 2023), 2023, doi: 10.26044/ecr2023/C-23583.
11. T. J. Allen et al., "Evaluation of a deep learning reconstruction for high-quality T2-weighted breast magnetic resonance imaging," *Tomography*, vol. 9, no. 5, pp. 1949–1964, 2023, doi: 10.3390/tomography9050152.
12. American College of Radiology, *Magnetic Resonance Imaging Quality Control Manual*. Reston, VA, USA: ACR, 2015.
13. American College of Radiology, "Large and medium phantom test guidance for the MRI accreditation program," 2022.
14. C. C. Chen, Y. L. Wan, Y. Y. Wai, and H. L. Liu, "Quality assurance of clinical MRI scanners using ACR MRI phantom: Preliminary results," *J. Digit. Imaging*, vol. 17, no. 4, pp. 279–284, 2004. Doi: 10.1007/s10278-004-1023-5
15. Z. Chen et al., "Deep learning for image enhancement and correction in magnetic resonance imaging—State-of-the-art and challenges," *J. Digit. Imaging*, vol. 36, no. 1, pp. 204–230, 2023, doi: 10.1007/s10278-022-00721-9.
16. A. C. Epistatou, I. A. Tsalafoutas, and K. K. Delibasis, "An automated method for quality control in MRI systems: Methods and considerations," *J. Imaging*, vol. 6, no. 10, p. 111, 2020, doi: 10.3390/jimaging6100111.

17. J. Harkin and C. Ingham, "Comparison of SNR assessment techniques for routine multi-element RF coil QC testing," *Phys. Imaging Radiat. Oncol.*, vol. 2, p. 100012, 2022. Doi : 10.1016/j.phro.2022.100012
18. S. Kiryu et al., "Clinical impact of deep learning reconstruction in MRI," *Radiographics*, vol. 43, no. 6, p. e220180, 2023. Doi : 10.1148/rg.220180
19. N. Koonjoo, B. Zhu, G. C. Bagnall, D. Bhutto, and M. S. Rosen, "Boosting the signal-to-noise of low-field MRI with deep learning image reconstruction," *Sci. Rep.*, vol. 11, p. 8248, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-87482-7.
20. A. Nilsson, "Development of a phantom for optimisation and quality control in functional MRI (fMRI)," M.S. thesis, Lund Univ., Lund, Sweden, 2006.
21. E. K. Englund, M. C. Langham, J. A. Detre, and F. W. Wehrli, "Quantitative MRI: Principles and clinical applications," *J. Magn. Reson. Imaging*, vol. 52, no. 3, pp. 683–698, 2020. Doi : 10.1002/jmri.26974
22. J. Zhang, Y. Liu, and H. Wang, "Optimization of MRI acquisition parameters for improved image quality," *Med. Phys.*, vol. 48, no. 8, pp. 4234–4245, 2021.
23. L. Wang, S. Kim, and J. Park, "Deep learning-based image reconstruction in MRI: A comprehensive review," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 42, no. 5, pp. 1234–1248, 2023.
24. R. Smith, A. Johnson, and M. Williams, "Phantom studies in MRI quality assurance: Current practices and future directions," *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, vol. 24, no. 2, pp. 45–58, 2023.
25. D. Lee, K. Park, and S. Choi, "Effect of slice thickness on image quality in 1.5T and 3T MRI systems," *Korean J. Radiol.*, vol. 25, no. 3, pp. 312–320, 2024.