

Analisis Variasi Nilai *Time Inversion* (TI) Terhadap Informasi Citra MRI *Knee Joint* Potongan Sagital Sekuen PDW SPAIR

Mahfud Edy Widiatmoko¹, Asy Syifa Sabina², Eny Supriyaningsi³, Muhammad Rizqi⁴, Eka Putra Syarif Hidayat⁵
^{1,2,3,4,5}Poltekkes Kemenkes Jakarta II, Jl. Hang Jebat III Blok F3, Gunung, Kebayoran Baru, Kota Jakarta Selatan
12120, Indonesia

Corresponding Author: Asy Syifa Sabina
e-mail: asysyifasabina16@gmail.com

ABSTRACT

Background: Magnetic Resonance Imaging (MRI) is a non-invasive imaging modality essential for evaluating complex anatomical structures such as the knee joint. MRI allows multiplanar imaging with high soft tissue contrast resolution. In knee imaging, the sagittal plane is particularly effective in assessing pathologies and visualizing structures like cartilage, menisci, bones, and ligaments (ACL and PCL). Proton Density Weighted (PDW) sequences combined with Spectral Adiabatic Inversion Recovery (SPAIR) fat suppression are commonly used to enhance soft tissue visualization. The image quality in SPAIR sequences is significantly influenced by the Time Inversion (TI) parameter. This study aimed to analyze the impact of varying TI values on the image quality of sagittal PDW SPAIR MRI of the knee joint, focusing on anatomical detail and contrast resolution.

Methods: This research used a quantitative analytical method with an experimental approach. The study was conducted at the Radiology Department of Pertamina Central Hospital from March to April 2025. Ten knee MRI examinations were selected as samples. Image quality was assessed by three radiologists using a structured scoring questionnaire. The data were analyzed using non-parametric statistical tests, including Friedman and Wilcoxon Signed-Rank tests.

Results: The Friedman test revealed statistically significant differences in anatomical detail ($\chi^2(2) = 15.000$, $p = 0.001$) and contrast resolution ($\chi^2(2) = 17.882$, $p = 0.000$) across the three TI values (100 ms, 160 ms, and 200 ms). Post-hoc Wilcoxon analysis showed that both TI 160 ms and 200 ms provided significantly higher image quality than 100 ms ($p < 0.017$) in both parameters. However, no significant differences were found between TI 160 ms and 200 ms ($p = 0.506$ for anatomical detail, $p = 0.273$ for contrast resolution). Among the values tested, TI 160 ms demonstrated consistent and optimal scores for both image clarity and contrast.

Conclusions: A TI value of 160 ms in the PDW SPAIR sequence is recommended as the optimal parameter for producing superior sagittal MRI images of the knee joint, particularly in terms of anatomical clarity and contrast resolution.

Keywords: *Knee Joint; SPAIR; Time Inversion*

Pendahuluan

Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan alat pencitraan medis non-invasif yang memanfaatkan medan magnet, gelombang radio, dan komputer untuk menghasilkan gambaran bagian dalam tubuh secara detail (Rana et al., 2021). MRI memiliki keunggulan dalam menghasilkan citra irisan anatomi tubuh secara multiplanar dengan resolusi kontras tinggi untuk berbagai jaringan lunak (Kesehatan Masyarakat et al., 2024).

Saat ini, MRI menjadi modalitas pilihan utama dalam evaluasi sendi lutut karena mampu menampilkan struktur secara jelas dan detail. Lutut

merupakan sendi yang paling sering mengalami cedera, dan keluhan nyeri lutut dapat terjadi pada berbagai kelompok usia, mulai dari anak-anak hingga dewasa. Mengingat kompleksitas struktur lutut serta beragamnya jenis cedera yang mungkin terjadi, dibutuhkan pencitraan yang mampu menampilkan jaringan lunak dan struktur tulang secara akurat agar proses diagnosis dan penatalaksanaan berjalan optimal (Astuti et al., 2016).

Potongan sagital adalah metode efektif untuk mengevaluasi berbagai patologi pada sendi lutut. Teknik ini mampu menampilkan struktur anatomi

seperti tulang rawan sendi, meniskus, tulang (patela, femur, tibia), serta ligamen (ACL dan PCL) dengan baik (Pescavage et al., 2011)

MRI memiliki tiga jenis pembobotan utama: T1, T2, dan proton density (PD). Pembobotan T1 digunakan untuk melihat struktur anatomi, sementara T2 digunakan untuk mendeteksi patologi karena cairan pada jaringan patologis tampak hiperintens. Sementara itu, pembobotan PD memberikan kontras yang baik untuk membedakan densitas proton pada jaringan lunak, sehingga efektif dalam menampilkan anatomi maupun kelainan jaringan (Westbrook, 2019).

PD *Fat Saturated Weighted* sering digunakan dalam evaluasi sendi ekstremitas. Teknik ini efektif mendeteksi fraktur tersembunyi maupun kelainan pada tulang, ligamen, tendon, dan tulang rawan (Wahyudiarti et al., 2021). Pada citra PD, sinyal lemak dan air tampak tinggi, sehingga diperlukan teknik fat suppression untuk menekan sinyal lemak dan meningkatkan visibilitas struktur penting seperti meniskus dan ligamen (Lee et al., 2020; Wahyudiarti et al., 2021)

Terdapat tiga teknik *fat suppression*: (1) teknik berbasis pergeseran kimia seperti fat saturation, Dixon, dan water excitation; (2) teknik berbasis waktu relaksasi seperti Short Tau Inversion Recovery (STIR); dan (3) teknik hybrid seperti Spectral Adiabatic Inversion Recovery (SPAIR) dan SPIR (Grande et al., 2014).

SPAIR menggabungkan spectral inversion dengan adiabatic pulse untuk menekan sinyal lemak secara spesifik, stabil, dan seragam. Teknik ini lebih tahan terhadap ketidakhomogenan RF dan menghasilkan rasio signal-to-noise (SNR) yang lebih tinggi dibanding metode fat suppression konvensional. Adiabatic inversion pulse dalam SPAIR berfungsi mengarahkan vektor magnetisasi dari sumbu +z ke -z, sehingga memaksimalkan supresi lemak (I et al., 2017).

Kualitas citra pada sekuens SPAIR sangat bergantung pada parameter akuisisi, salah satunya Time Inversion (TI). TI adalah jeda waktu antara pemberian pulsa RF 180° dan RF 90°, yang menentukan kapan sinyal jaringan tertentu mencapai nol. Pemilihan TI yang tepat penting untuk menekan sinyal jaringan spesifik berdasarkan waktu relaksasinya (Ary, 2017).

Dalam MRI lutut, TI berperan dalam membedakan jaringan lunak seperti ligamen, tendon, dan tulang rawan dari jaringan sekitar. Menurut buku panduan Philips, untuk sekuens SPAIR dengan TR panjang, nilai TI sebaiknya tidak melebihi 160 ms agar lemak tidak tampak hiperintens (Ary, 2017). Pada MRI 3T, nilai TI

optimal untuk supresi lemak berkisar 205–225 ms, sedangkan pada MRI 1.5T berada di kisaran 100–200 ms (Grande et al., 2014). TI yang sesuai dengan waktu nulling akan menghasilkan supresi lemak paling efektif.

Studi pendahuluan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Pusat Pertamina menunjukkan bahwa protokol MRI Knee Joint menggunakan sekuens PDW SPAIR potongan sagital dengan nilai TI 100 ms. Nilai ini digunakan secara tetap tanpa penyesuaian, meskipun teori menyebutkan adanya rentang optimal TI yang lebih luas. Berdasarkan kondisi tersebut, penulis tertarik untuk meneliti pengaruh variasi nilai Time Inversion terhadap kualitas informasi citra MRI Knee Joint sekuens PDW SPAIR potongan sagital di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Pusat Pertamina.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi nilai Time Inversion (TI) terhadap kualitas informasi anatomi dan resolusi kontras pada citra MRI Knee Joint sekuens PDW SPAIR potongan sagital.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif analitik dengan pendekatan eksperimen. Desain ini digunakan untuk menganalisis secara sistematis pengaruh variasi nilai Time Inversion (TI) terhadap kualitas citra MRI Knee Joint potongan sagital dengan sekuens PDW SPAIR, serta membandingkan hasil dari setiap variasi nilai TI yang digunakan. Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Pusat Pertamina, Jakarta, pada periode Maret hingga April 2025. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh pemeriksaan MRI Knee Joint yang dilakukan selama periode tersebut, dengan sampel sebanyak 10 pemeriksaan yang dipilih secara purposive berdasarkan kriteria inklusi tertentu.

Instrumen utama dalam penelitian ini adalah kuesioner penilaian citra yang digunakan untuk mengevaluasi dua aspek utama kualitas gambar, yaitu informasi anatomi dan resolusi kontras

Kuesioner ini telah divalidasi oleh ahli yang terdiri dari dua dokter spesialis radiologi dan satu radiografer berpengalaman untuk memastikan kejelasan indikator, relevansi, serta keobjektifan penilaian. Penilaian dilakukan secara independen oleh ketiga responden. Skala penilaian menggunakan sistem ordinal 1–4, di mana skor 1 menunjukkan struktur sangat buram, skor 2 kurang jelas, skor 3 cukup jelas, dan skor 4 sangat jelas. Untuk informasi anatomi, struktur yang dinilai

meliputi patella, ACL, PCL, meniskus, dan prefemoral fat body.

Pemeriksaan MRI dilakukan dengan menggunakan alat MRI 3 Tesla Philips. Semua parameter pemeriksaan dijaga tetap, kecuali nilai Time Inversion (TI) yang divariasikan. Parameter teknis lainnya mencakup TR, TE, slice thickness, field of view (FOV), dan matrix diatur tetap. Tiga variasi nilai TI yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 ms, 160 ms, dan 200 ms.

Data kuantitatif yang diperoleh dari kuesioner penilaian dianalisis menggunakan metode statistik non-parametrik. Uji Friedman diterapkan untuk menguji adanya perbedaan signifikan secara keseluruhan pada kualitas citra antara ketiga variasi nilai TI yang diujikan. Apabila uji Friedman menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji Wilcoxon Signed Rank Test untuk melakukan perbandingan berpasangan antar masing-masing variasi TI (TI 100 ms vs 160 ms, TI 160 ms vs 200 ms, dan TI 100 ms vs 200 ms). Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi secara lebih spesifik variasi TI mana yang memberikan kualitas citra optimal. Tingkat signifikansi statistik yang digunakan dalam semua pengujian adalah $p < 0,05$.

Hasil dan Pembahasan

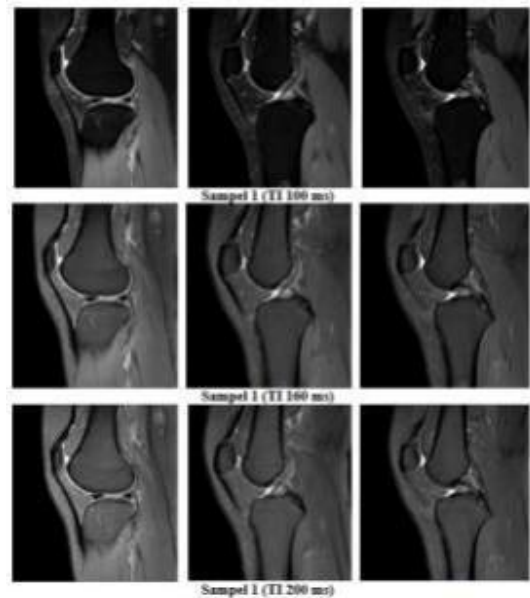
Penelitian ini melibatkan 10 sampel sukarelawan yang menjalani akuisisi citra MRI Knee Joint menggunakan sekuen PDW SPAIR dengan tiga variasi nilai TI 100 ms, 160 ms, dan 200 ms. Kualitas citra dievaluasi secara independen oleh penilai ahli berdasarkan dua aspek kunci: informasi anatomi dan contrast resolution. Gambar berikut menunjukkan hasil citra MRI Knee Joint yang diperoleh menggunakan sekuen PDW SPAIR dengan variasi nilai Time Inversion (TI), yang digunakan untuk menilai informasi citra yang berupa anatomi dan contrast resolution.

Tabel 1. Hasil Uji Friedman

Aspek Penilaian	TI 100 ms	TI 160 ms	TI 200 ms	Chi-Square	p-value
Informasi Anatomi	1.00	2.50	2.50	15.000	0.001
Contrast Resolution	1.00	2.40	2.60	17.882	0.000

Keterangan : $p < 0.05$ menunjukkan perbedaan signifikan.

Hasil uji Friedman menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan pada informasi anatomi dan resolusi kontras antara ketiga variasi nilai TI



Gambar. 1. Hasil Citra MRI Knee Joint

Tabel 2. Hasil Uji Wilcoxon Antara Variasi TI Terhadap Informasi Anatomi dan Resolusi Kontras

Pasangan TI	Aspek Penilaian	Z Score	p-value	Keterangan
TI 160 ms vs TI 100 ms	Anatomi & Kontras	-2.807	0.005	Signifikan TI 160 ms lebih baik
TI 200 ms vs TI 100 ms	Anatomi & Kontras	-2.807	0.005	Signifikan TI 200 ms lebih baik
TI 200 ms vs TI 160 ms	Anatomi	-0.665	0.506	Tidak signifikan performa sebanding
TI 200 ms vs TI 160 ms	Contrast Resolution	-1.095	0.273	Tidak signifikan performa sebanding

Variasi nilai Time Inversion (TI) pada sekuen PDW SPAIR terbukti memberikan dampak signifikan terhadap kejelasan tampilan detail anatomi dan contrast resolution pada citra MRI Knee Joint. Hasil uji statistik yang signifikan menunjukkan bahwa nilai TI 160 ms merupakan parameter optimal dalam konteks penelitian ini. Nilai ini menghasilkan kualitas citra terbaik baik dari segi anatomi maupun kontras jaringan, melampaui TI 100 ms dan 200 ms.

Secara teknis, keberhasilan TI 160 ms dalam menghasilkan citra yang unggul dapat dijelaskan melalui prinsip kerja SPAIR, yang mengombinasikan pulsa adiabatik dan inversi spektral untuk menekan sinyal lemak secara selektif. Seperti dijelaskan oleh Grande et al. (2014), efektivitas fat suppression sangat bergantung pada kedekatan nilai TI terhadap null

point lemak. Ketika TI terlalu pendek atau terlalu panjang dari titik null, supresi menjadi kurang optimal dan justru dapat menekan sinyal jaringan non-lemak. Hal ini selaras dengan hasil penelitian ini, di mana TI 160 ms secara empiris terbukti paling mendekati null point lemak untuk konfigurasi alat dan subjek penelitian yang digunakan.

Penurunan kualitas citra pada TI 200 ms dapat disebabkan oleh over-suppression, seperti dikemukakan oleh Ary (2017), di mana TI yang terlalu tinggi menyebabkan sinyal lemak tidak lagi optimal ditekan dan bahkan dapat mengganggu tampilan jaringan target. Akibatnya, struktur penting seperti ACL, PCL, meniskus, dan kartilago menjadi kurang terlihat jelas, yang tentunya menurunkan efektivitas diagnostik.

Dari sisi penerapan klinis, temuan ini memberikan kontribusi langsung dalam pemilihan parameter MRI lutut di praktik radiologi sehari-hari. Penyesuaian TI ke 160 ms dapat diadopsi sebagai standar protokol untuk sekuen PDW SPAIR sagital, guna meningkatkan akurasi diagnosis cedera sendi lutut tanpa memerlukan pengulangan pemeriksaan atau penggunaan sekuen tambahan.

Adapun keterbatasan penelitian ini terletak pada ukuran sampel yang masih terbatas (10 sampel) serta belum diperluas pada kelompok usia atau jenis patologi yang bervariasi. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian lanjutan dilakukan dengan jumlah sampel yang lebih besar serta melibatkan populasi pasien dengan variasi klinis berbeda, termasuk uji coba pada medan magnet MRI berbeda (1.5 T vs 3.0 T), untuk mengonfirmasi generalisasi temuan dan memperkuat rekomendasi parameter klinis secara lebih luas.

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Time Inversion (TI) sebesar 160 ms merupakan parameter optimal pada sekuen PDW SPAIR potongan sagital untuk MRI Knee Joint. Nilai ini secara statistik memberikan visualisasi terbaik terhadap detail anatomi dan resolusi kontras dibandingkan TI 100 ms dan 200 ms. Efektivitas TI 160 ms dalam menekan sinyal lemak memungkinkan struktur seperti ACL, PCL, dan meniskus terlihat lebih jelas, mendukung diagnosis radiologis yang lebih akurat.

Secara klinis, penggunaan TI 160 ms direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas citra MRI lutut, khususnya dalam evaluasi jaringan lunak intra-artikular. Untuk memperkuat temuan ini, penelitian lanjutan dengan jumlah sampel lebih besar dan variasi alat MRI perlu dilakukan guna

memastikan generalisasi hasil pada populasi yang lebih luas

Daftar Pustaka

- Ary, N. S. (2017). *Analisa Variasi Nilai Inversion Delay Terhadap Informasi Anatomi Citra MRI Knee Joint Potongan Sagital Dengan Proton Density Weighted SPAIR*.
- Astuti, T. D., Murniati, E., & Mulyati, S. (2016). Analisis Informasi Citra MRI Genu Potongan Aksial antara Sekuen Short TAU Inversion Recovery (STIR) dan Sekuen T2-Spectral Attenuation Inversion Recovery (T2-SPAIR). *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 2(1), 103–110.
<https://doi.org/10.31983/jimed.v2i1.3165>
- Grande, del F., Francesco Santini Daniel A Herzka, Michael R, C., & Garry E. Gold, J. A. carrino. (2014). Fat Suppression Techniques for 3T MRI of The Musculoskeletal System. *Physiology & Behavior*, 176(10), 139–148.
<https://doi.org/10.1148/rg.341135130.Fat-Suppression>
- I, W. S., Sugiyanto, & Edy, S. (2017). *Pengaruh Variasi Time Inversion (TI) Pada SPAIR Terhadap Informasi Anatomi MRI Abdomen Sekuens T2WI In Axial*.
- Kesehatan Masyarakat, J., Widya Risma, F., Putu Eka Juliantara, I., Luh Putu Sari Widari, N., Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, A., & Author, C. (2024). *Perbandingan Cnr Mri Knee Joint Pasien Ligament Injury : Studi Komparasi Kombinasi Flip Angle Dan Time Inversion*. 8, 3801–3809.
- Lee, S., Lee, G. Y., Kim, S., Park, Y. B., & Lee, H. J. (2020). Clinical utility of fat-suppressed 3-dimensional controlled aliasing in parallel imaging results in higher acceleration sampling perfection with application optimized contrast using different flip angle evolutions MRI of the knee in adults. *British Journal of Radiology*, 93(1112).
<https://doi.org/10.1259/bjr.20190725>
- Petscavage, J. M., Ha, A. S., Khorashadi, L., Perrich, K., & Chew, F. S. (2011). New and improved orthopedic hardware for the 21st century: Part 2, lower extremity and axial skeleton. *American Journal of Roentgenology*,

- 197(3), 434–444.
<https://doi.org/10.2214/AJR.10.5354>
- Wahyudiarti, E., Winarno, G., Gunawati, S.,
Prananto, L., & Heru, N. (2021).
Perbandingan Citra Mri Pedis Sequence
Proton Density Fat Saturated Dan Stir (Short
Tau Inversion Recovery) Potongan Sagital.
JRI (Jurnal Radiografer Indonesia), 4(1), 18–
24. <https://doi.org/10.55451/jri.v4i1.81>
- Westbrook, C. (2019). *HANDBOOK OF MRI
TECHNIQUE* (Fourth Edi).