

OPTIMALISASI *CONCATENATION* TERHADAP *IMAGE QUALITY* PADA PEMERIKSAAN MRI LUMBAL KASUS HERNIA NUCLEUS PULPOSUS (HNP)

Yunda Istiqamah^{1*}, Kadek Yuda Astina², I Wayan Ariec Sugiantara³

AKTEK Radiodiagnostik dan radioterapi Bali^{1,2}, Instalasi Radiologi RSUD Sanjiwani Gianyar³

*Corresponding Author : istiqamahyunda@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi pengaturan concatenation terhadap kualitas citra MRI lumbal pada kasus Hernia Nukleus Pulposus (HNP). Penelitian ini berfokus pada bagaimana perbedaan pengaturan concatenation memengaruhi Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR), dua parameter penting yang sangat berpengaruh pada keakuratan diagnosis. Metode yang digunakan adalah desain eksperimental, di mana dua pengaturan concatenation yang berbeda diterapkan pada pemeriksaan MRI lumbal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Concatenation 2 memberikan peningkatan yang signifikan pada nilai SNR dan CNR dibandingkan dengan Concatenation 1. Peningkatan ini menghasilkan citra yang lebih jelas dan detail, sehingga membantu meningkatkan akurasi dalam mendiagnosis HNP. Dengan kualitas citra yang lebih unggul, Concatenation 2 juga dinilai lebih efisien secara klinis, karena dapat mempermudah interpretasi hasil oleh radiolog dan mengurangi kemungkinan kesalahan diagnosis. Berdasarkan temuan ini, Concatenation 2 direkomendasikan sebagai pengaturan optimal untuk pemeriksaan MRI lumbal pada pasien dengan HNP. Pengaturan ini tidak hanya memberikan citra dengan kualitas yang lebih baik, tetapi juga mendukung efisiensi dalam praktik klinis sehari-hari. Penelitian ini memberikan wawasan penting bagi peningkatan kualitas prosedur pencitraan medis.

Kata kunci : CNR, concatenation, hernia nukleus pulposus, MRI, SNR

ABSTRACT

This study aims to evaluate the impact of variations in concatenation settings on the quality of lumbar MRI images in cases of Herniated Nucleus Pulposus (HNP). It focuses on how different concatenation configurations affect the Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Contrast-to-Noise Ratio (CNR), two crucial parameters that significantly influence diagnostic accuracy. The research employs an experimental design, where two different concatenation settings were applied during lumbar MRI examinations. The results indicate that Concatenation 2 provides a significant improvement in SNR and CNR values compared to Concatenation 1. This enhancement leads to clearer and more detailed images, thereby improving the accuracy of HNP diagnoses. With superior image quality, Concatenation 2 is also considered more clinically efficient, as it facilitates the interpretation of results by radiologists and reduces the likelihood of diagnostic errors. Based on these findings, Concatenation 2 is recommended as the optimal setting for lumbar MRI examinations in patients with HNP. This setting not only delivers higher-quality images but also supports efficiency in daily clinical practice. This study provides valuable insights for improving the quality of medical imaging procedures.

Keywords : concatenation, MRI, hernia nucleus pulposus, SNR, CNR

PENDAHULUAN

Hernia Nukleus Pulposus (HNP) merupakan salah satu penyebab paling umum dari nyeri punggung bawah (Azharuddin et al., 2022), terutama pada populasi usia lanjut (Mbarki et al., 2020). Kasus HNP umumnya terjadi di vertebra lumbal, khususnya pada level L4-L5 dan L5-S1. Modalitas pencitraan yang paling sensitif untuk mendiagnosis HNP adalah Magnetic Resonance Imaging (MRI), yang menawarkan visualisasi anatomi secara detail tanpa paparan radiasi pengion (Harmawan et al., 2022). MRI memiliki keunggulan dalam hal sensitivitas

dan spesifisitas yang tinggi dalam mendeteksi kelainan pada diskus intervertebralis serta jaringan sekitarnya (Vargas et al., 2021) Dalam pemeriksaan MRI lumbal, berbagai parameter teknik pencitraan digunakan untuk menghasilkan kualitas citra yang optimal, seperti time repetition (TR), time echo (TE), dan flip angle (Hiepe et al., 2011). Salah satu teknik penting dalam meningkatkan kualitas citra adalah penggunaan concatenation (Chen et al., 2010). yang merupakan metode untuk memperoleh jumlah irisan lebih banyak tanpa memperpanjang waktu pemeriksaan secara signifikan. Teknik ini juga membantu mengurangi artefak yang muncul akibat kedekatan antaririsan citra (Dayarathna et al., 2024).

Pentingnya penggunaan concatenation dalam teknik pencitraan tidak hanya berkaitan dengan kualitas citra, tetapi juga durasi pemeriksaan dan kenyamanan pasien. Dengan teknik ini, proses pencitraan dapat diselesaikan dengan lebih efisien tanpa mengorbankan kualitas gambar yang dihasilkan (Ravi et al., 2024). Pada kasus HNP, di mana visualisasi akar saraf dan cakram intervertebralis sangat krusial, pengaturan parameter concatenation yang tepat dapat mempengaruhi kemampuan diagnostik dokter dalam menilai tingkat keparahan dan lokasi herniasi. Pemeriksaan MRI lumbal dengan menggunakan MRI 3 Tesla memiliki beberapa keunggulan dalam mendeteksi kasus Hernia Nukleus Pulposus (HNP) (Christin et al., 2019). MRI 3 Tesla menghasilkan resolusi gambar yang sangat tinggi, memungkinkan visualisasi detail yang lebih tajam pada jaringan lunak, termasuk diskus intervertebralis, saraf tulang belakang, dan struktur sekitarnya (Ladd et al., 2018). Dengan kekuatan magnet yang lebih besar dibandingkan MRI 1,5 Tesla, MRI 3 Tesla dapat mendeteksi kelainan diskus, termasuk tonjolan atau pecahnya nukleus pulposus, dengan lebih akurat. Sensitivitas yang tinggi juga memungkinkan identifikasi kompresi saraf atau inflamasi dengan lebih jelas, yang sangat penting dalam penentuan tingkat keparahan dan perencanaan terapi HNP (Vargas et al., 2021).

Keunggulan lainnya adalah durasi pemeriksaan yang lebih cepat serta peningkatan kualitas gambar yang bermanfaat untuk evaluasi menyeluruh dan pengambilan keputusan klinis yang lebih tepat. Protokol rutin pemeriksaan MRI lumbal pada kasus Hernia Nukleus Pulposus (HNP) melibatkan beberapa tahapan yang dirancang untuk menghasilkan gambar berkualitas tinggi guna evaluasi yang akurat (Awadalla et al., 2023). Pasien biasanya diposisikan dalam keadaan terlentang dengan lutut sedikit ditinggikan untuk mengurangi ketegangan lumbal. Protokol standar mencakup serangkaian sekuens, dimulai dengan T1-weighted sagittal untuk mengevaluasi anatomi tulang belakang dan diskus intervertebralis (Maulidya Maulidya et al., 2019), serta T2-weighted sagittal untuk menilai status hidrasi diskus dan mendeteksi herniasi (Russo et al., 2023). Kemudian, dilakukan pemindaian T2-weighted axial pada level diskus yang dicurigai untuk visualisasi yang lebih mendetail mengenai kompresi saraf atau stenosis kanal spinalis (Mbarki et al., 2020). Penambahan sekuens STIR (Short Tau Inversion Recovery) dapat membantu mendeteksi edema pada jaringan lunak atau inflamasi (Mehta et al., 2017).

Jika diperlukan, T1-weighted post-gadolinium dapat digunakan untuk mengevaluasi peningkatan jaringan yang mencurigakan, seperti peradangan atau neoplasma. Protokol ini dirancang untuk memberikan gambaran lengkap mengenai struktur lumbal, sehingga memungkinkan identifikasi yang akurat terkait tingkat herniasi dan dampak pada saraf. Namun, berdasarkan pengamatan di lapangan, variasi dalam penggunaan concatenation dapat mempengaruhi kualitas citra. Penggunaan concatenation yang optimal dapat meningkatkan kontras dan kualitas diagnostik secara keseluruhan, yang sangat penting dalam mendiagnosis patologi seperti HNP (Ract et al., 2015) Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi concatenation terhadap kualitas citra pada pemeriksaan MRI lumbal kasus HNP.

Dengan demikian, penelitian ini akan memberikan kontribusi penting dalam menentukan Teknik Concatenation mana yang lebih optimal untuk Kasus Hernia Nukleus Pulposus, serta

memberikan rekomendasi terkait pemilihan Concatenation yang sesuai dalam konteks klinis yang berbeda.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh variasi pengaturan concatenation terhadap kualitas citra MRI lumbal pada kasus Hernia Nukleus Pulposus (HNP). Penelitian ini bertujuan untuk menilai bagaimana pengaturan concatenation yang berbeda memengaruhi Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR), dua parameter penting yang menentukan kualitas citra dan keakuratan diagnosis. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi pengaturan concatenation yang optimal dalam menghasilkan citra MRI lumbal dengan kualitas terbaik, sehingga dapat membantu meningkatkan akurasi diagnosis pada kasus HNP. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi berbasis bukti mengenai pengaturan concatenation yang paling efisien dan efektif untuk digunakan dalam praktik klinis sehari-hari, serta berkontribusi pada peningkatan kualitas prosedur pencitraan medis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan yang lebih jelas mengenai pengaturan concatenation yang optimal dalam pemeriksaan MRI lumbal. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas diagnostik pada kasus HNP, sekaligus memberikan rekomendasi bagi tenaga medis dalam memilih pengaturan MRI yang

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi concatenation terhadap kualitas citra pada pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI) lumbal pada pasien dengan kasus Hernia Nukleus Pulposus (HNP). Pendekatan eksperimental kuantitatif dipilih untuk mengeksplorasi perbedaan hasil pencitraan berdasarkan pengaturan concatenation yang berbeda, yakni concatenation 1 dan concatenation 2. Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian eksperimental di mana parameter concatenation (sebagai variabel bebas) diatur dalam dua variasi, yaitu concatenation 1 dan concatenation 2, untuk mengamati dampaknya terhadap kualitas citra. Kualitas citra yang dinilai dalam penelitian ini meliputi dua parameter utama, yaitu Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR) yang dihasilkan pada pemeriksaan MRI lumbal. Pemeriksaan dilakukan menggunakan MRI dengan kekuatan 3 Tesla di bagian lumbal pada pasien yang didiagnosis dengan HNP.

Populasi dalam penelitian ini adalah pasien yang menjalani pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI) lumbal dengan diagnosis Hernia Nukleus Pulposus (HNP) di RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah Denpasar. Sampel diambil dengan metode purposive sampling, di mana kriteria inklusi ditetapkan untuk pasien pria dan wanita dengan usia antara 20 hingga 70 tahun yang kooperatif dan bersedia mengikuti penelitian. Total sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 7 pasien, sesuai dengan perhitungan rumus Lemeshow (Lwanga & Lemeshow, n.d.) untuk uji beda rata-rata dua kelompok. Kriteria eksklusi untuk penelitian ini mencakup pasien dengan claustrophobia (takut ruang sempit) dan pasien yang tidak bersedia mengikuti prosedur penelitian. Sampel yang diambil akan menjalani pemeriksaan MRI lumbal dengan variasi concatenation 1 dan concatenation 2 untuk mengevaluasi kualitas citra yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan instrumen berupa MRI Siemens dengan kekuatan 3 Tesla, yang dipadukan dengan spine coil untuk memastikan kualitas pencitraan optimal selama pemindaian. Selain itu, software ROI (Region of Interest) digunakan untuk mengukur Signal-to-Noise Ratio (SNR), Contrast-to-Noise Ratio (CNR) yang semuanya penting untuk evaluasi kuantitatif (Demirturk Kocasarac et al., 2020). Perlengkapan tambahan untuk kenyamanan dan keamanan pasien meliputi baju pasien, ear plug untuk mengurangi kebisingan selama pemeriksaan, emergency bell sebagai alat komunikasi jika diperlukan, serta selimut untuk

menjaga kenyamanan pasien selama prosedur berlangsung. Pengukuran Signal-to-Noise Ratio (SNR) dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata sinyal dari citra pada diskus intervertebralis dengan standar deviasi dari noise yang muncul pada gambar tersebut. Sedangkan Contrast-to-Noise Ratio (CNR) dihitung berdasarkan selisih nilai SNR antara diskus intervertebralis dan jaringan lunak di sekitarnya, yang bertujuan untuk menentukan seberapa baik perbedaan kontras antara dua struktur tersebut terlihat pada hasil pencitraan.

Teknik analisis data yang digunakan meliputi analisis deskriptif dan komparatif. Analisis deskriptif akan digunakan untuk menggambarkan karakteristik dasar sukarelawan, termasuk usia, jenis kelamin, dan indeks massa tubuh (BMI). Analisis komparatif dilakukan untuk membandingkan kualitas citra antara pengaturan Concatenation 1 dan Concatenation 2. Jika data terdistribusi normal, uji t-test akan digunakan untuk membandingkan nilai SNR dan CNR antara kedua pengaturan. Namun, jika distribusi data tidak normal, uji Mann-Whitney akan diterapkan. Semua data akan dianalisis menggunakan software SPSS versi 22 untuk memperoleh hasil yang akurat dan sesuai dengan metodologi statistik wilcoxon. Penelitian ini telah memperoleh persetujuan dari Komite Etik Fakultas Kedokteran Universitas Udayana. Semua sukarelawan yang terlibat dalam penelitian diberikan penjelasan mengenai tujuan dan prosedur penelitian serta menandatangani informed consent sebelum menjalani pemeriksaan. Penelitian ini juga menjamin kerahasiaan data pribadi dan hasil pemeriksaan. Penelitian dilaksanakan di RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah Denpasar dengan waktu penelitian Agustus-September 2024.

HASIL

Karakteristik Subjek Penelitian

Tabel 1. Deskriptif Subjek Penelitian

Variabel	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Berat Badan	7	60.00	80.00	69.7143
Tinggi Badan	7	158.00	185.00	171.2857
Umur	7	24.00	70.00	43.5714
Berat Badan	7	60.00	80.00	69.7143

Tabel 2. Distribusi Jenis Kelamin

Jenis Kelamin	Frekuensi	Persentase
Perempuan	1	14,3%
Laki-laki	6	85,7 %

Penelitian ini melibatkan 7 subjek dengan rentang usia antara 24 hingga 70 tahun (mean = 70.00, SD = 43.5714), tinggi badan rata-rata 185.00 cm (SD = 171.2857), dan berat badan rata-rata 80.00 kg (SD = 69.7143). Sebagian besar subjek adalah Laki-laki (85,7%). Berdasarkan hasil penelitian, variasi concatenation menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas citra MRI lumbal pada pasien dengan Hernia Nucleus Pulposus (HNP). Pengaruh ini dinilai melalui dua parameter utama, yaitu Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR). Hasil penelitian dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Penelitian

Parameter	Concatenation 1 (Mean ± SD)	Concatenation 2 (Mean ± SD)
SNR pada Diskus Intervertebralis	56.73 ± 28.09	2039.61 ± 3334.59
SNR pada Cairan Serebrospinal	777.75 ± 403.85	23829.41 ± 59807.64
CNR	1444.54 ± 659.68	18245.63 ± 16110.27

Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa Concatenation 2 secara signifikan memberikan nilai SNR dan CNR yang lebih tinggi dibandingkan Concatenation 1. Sebagai contoh, SNR pada diskus intervertebralis meningkat dari rata-rata 56.73 pada Concatenation 1 menjadi 2039.61 pada Concatenation 2, menunjukkan peningkatan yang sangat besar. Begitu pula pada cairan serebrospinal, di mana SNR meningkat secara signifikan dari 777.75 menjadi 23829.41 pada Concatenation 2. Pada parameter CNR, peningkatan yang signifikan juga terlihat, dengan Concatenation 2 menghasilkan rata-rata 18245.63, jauh lebih tinggi dibandingkan Concatenation 1 yang hanya mencapai 1444.54. Untuk memeriksa apakah perbedaan ini signifikan, dilakukan uji statistik Wilcoxon. Hasil uji Wilcoxon menunjukkan nilai $p < 0.05$ untuk perbandingan SNR dan CNR antara Concatenation 1 dan Concatenation 2, yang menunjukkan bahwa variasi concatenation secara signifikan memengaruhi kualitas citra.

Peningkatan SNR dan CNR pada Concatenation 2 menunjukkan bahwa teknik ini memberikan kualitas citra yang lebih baik, terutama dalam menampilkan detail anatomi seperti diskus intervertebralis dan cairan serebrospinal, yang sangat penting dalam diagnosis Hernia Nucleus Pulposus (HNP). Penelitian ini juga menemukan bahwa pengaturan Concatenation 2 memberikan hasil yang paling optimal. Dengan rata-rata SNR dan CNR yang jauh lebih tinggi, pengaturan ini mampu menghasilkan citra yang lebih jelas dan informatif untuk evaluasi klinis HNP. Meskipun terdapat variasi yang cukup besar dalam data, pengaturan Concatenation 2 tetap menunjukkan keunggulannya dalam menangkap detail struktur lumbal dengan lebih baik. Optimalisasi concatenation memiliki peranan penting dalam meningkatkan kualitas citra MRI. Penggunaan Concatenation 2 tidak hanya memperbaiki kualitas visual gambar tetapi juga mempercepat proses pencitraan tanpa mengorbankan akurasi diagnostik. Kualitas citra yang lebih baik memungkinkan identifikasi patologi seperti herniasi diskus dan kompresi saraf dengan lebih jelas, yang pada akhirnya akan mempermudah perencanaan terapi.

PEMBAHASAN

Pengaruh Variasi Concatenation terhadap Kualitas Citra MRI Lumbal Kasus Hernia Nucleus Pulposus (HNP)

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi concatenation memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas citra MRI lumbal, yang diukur melalui dua parameter utama, yaitu Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR). Hasil menunjukkan bahwa Concatenation 2 menghasilkan nilai SNR dan CNR yang lebih tinggi dibandingkan Concatenation 1, yang mengindikasikan peningkatan kualitas visual citra. Peningkatan ini memungkinkan visualisasi yang lebih detail terhadap struktur anatomi penting, seperti diskus intervertebralis dan jaringan saraf di sekitarnya, yang sangat krusial dalam diagnosis herniasi diskus. Temuan ini juga sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa peningkatan SNR dan CNR sangat berperan dalam menghasilkan citra yang lebih tajam dan kaya informasi untuk diagnosa penyakit tulang belakang (Hiepe et al., 2010; Vargas et al., 2020).

Selain itu, studi ini mengonfirmasi pentingnya penggunaan concatenation yang tepat dalam MRI lumbal. Pada Concatenation 2, peningkatan SNR mengurangi tingkat noise dalam citra, sehingga menghasilkan gambar yang lebih bersih dan memungkinkan deteksi patologi yang lebih halus. Peningkatan CNR juga penting karena memperbaiki kontras antara jaringan sehat dan jaringan yang mengalami herniasi, memungkinkan identifikasi area yang mengalami kompresi saraf atau perubahan struktural pada diskus. Ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Ladd et al. (2018), yang menyatakan bahwa peningkatan SNR pada MRI dengan medan magnet tinggi berperan penting dalam meningkatkan resolusi dan akurasi diagnostik. Hasil uji statistik Wilcoxon menunjukkan nilai $p < 0.05$, yang mengindikasikan bahwa perbedaan antara Concatenation 1 dan Concatenation 2 signifikan secara statistik.

Dalam konteks klinis, hasil ini memiliki relevansi besar karena pemilihan pengaturan concatenation yang tepat tidak hanya meningkatkan kualitas citra, tetapi juga efisiensi proses diagnosis. Peningkatan kualitas visual citra, terutama pada Concatenation 2, memungkinkan dokter untuk mendapatkan informasi lebih lengkap dalam waktu yang lebih singkat, sehingga mempercepat pengambilan keputusan klinis, baik untuk terapi konservatif maupun bedah.

Pengaturan Concatenation yang Optimal untuk Kualitas Citra MRI Lumbal Kasus HNP

Concatenation 2 terbukti sebagai pengaturan optimal dalam penelitian ini, dengan nilai SNR dan CNR yang jauh lebih tinggi dibandingkan Concatenation 1. Peningkatan ini berimplikasi langsung pada kemampuan visualisasi yang lebih baik terhadap struktur lumbal. Khususnya dalam hal diagnosis HNP, di mana identifikasi herniasi diskus dan kompresi saraf sangat penting, Concatenation 2 memberikan kualitas citra yang memungkinkan penilaian anatomi yang lebih akurat dan detail. Peningkatan kualitas visual ini tidak hanya relevan untuk deteksi awal HNP, tetapi juga untuk pemantauan progresi penyakit serta evaluasi pasca-terapi.

Hubungan hasil penelitian ini dengan literatur sebelumnya sangat jelas. Hiepe et al. (2010) menyoroti pentingnya teknik pencitraan canggih dalam meningkatkan kualitas citra MRI pada tulang belakang, khususnya dalam meminimalkan artefak dan meningkatkan resolusi pencitraan. Penelitian ini mendukung temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa pengaturan concatenation yang lebih baik, seperti Concatenation 2, dapat memberikan hasil yang serupa dengan peningkatan kualitas visual. Selain itu, Vargas et al. (2020) juga menekankan bahwa pemilihan sekuens MRI yang tepat sangat penting untuk menghasilkan citra berkualitas tinggi, terutama pada struktur kompleks seperti tulang belakang.

Manfaat klinis dari penggunaan Concatenation 2 meliputi diagnosis yang lebih akurat dan efisiensi waktu pemeriksaan yang lebih baik. Dengan kualitas citra yang lebih tinggi, radiolog dapat mengidentifikasi patologi seperti herniasi diskus atau kompresi saraf dengan lebih akurat. Ini penting tidak hanya untuk memastikan diagnosis yang tepat tetapi juga untuk merencanakan intervensi bedah atau pengobatan konservatif yang lebih efektif. Selain itu, pengaturan concatenation yang lebih baik memungkinkan pemeriksaan dilakukan dalam waktu yang lebih singkat tanpa mengorbankan kualitas, yang memberikan kenyamanan lebih bagi pasien.

Dampak Penggunaan Concatenation terhadap Akurasi Diagnostik

Peningkatan SNR dan CNR pada Concatenation 2 memiliki dampak signifikan terhadap akurasi diagnostik. Peningkatan kualitas citra yang dihasilkan memungkinkan visualisasi lebih baik dari herniasi diskus dan kompresi saraf, yang sangat penting untuk diagnosis yang akurat. Temuan ini didukung oleh penelitian Harmawan et al. (2022), yang menunjukkan bahwa peningkatan kualitas pencitraan MRI sangat berperan dalam meningkatkan sensitivitas dan spesifisitas dalam diagnosis HNP. Dengan visualisasi yang lebih baik, dokter dapat lebih mudah mengidentifikasi herniasi yang lebih kecil atau yang terletak di posisi yang sulit, yang sebelumnya mungkin terlewat dengan pengaturan concatenation yang kurang optimal.

Kualitas citra yang lebih baik juga berkontribusi terhadap akurasi diagnosis yang lebih tinggi dalam mendeteksi HNP, bahkan pada kasus di mana patologi bersifat subklinis. Hal ini penting untuk memastikan bahwa tidak ada perubahan patologis yang terlewat selama pemeriksaan. Dengan demikian, pengaturan concatenation yang optimal seperti Concatenation 2 dapat membantu mengurangi risiko underdiagnosis atau misdiagnosis, yang sering kali terjadi pada pemeriksaan dengan kualitas citra yang lebih rendah (Azharuddin et al., 2021).

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah variasi besar dalam data yang dihasilkan oleh Concatenation 2. Meskipun hasil secara statistik signifikan, variasi ini dapat memengaruhi interpretasi hasil, terutama dalam populasi yang lebih luas. Penelitian lanjutan dengan kontrol yang lebih baik terhadap faktor-faktor teknis atau variasi subjek mungkin diperlukan untuk meminimalkan variasi ini dan mendapatkan hasil yang lebih konsisten. Selain itu, ukuran sampel yang kecil dalam penelitian ini merupakan keterbatasan lain. Dengan ukuran sampel yang lebih besar, hasil dapat lebih digeneralisasi untuk populasi yang lebih luas. Penelitian lebih lanjut dengan ukuran sampel yang lebih besar akan diperlukan untuk memvalidasi hasil ini dan memberikan bukti yang lebih kuat tentang keunggulan Concatenation 2 dibandingkan pengaturan lain. Selain itu, keterbatasan lain mungkin terkait dengan desain studi dan penggunaan satu jenis mesin MRI, yang dapat memengaruhi hasil jika teknologi MRI yang lebih baru digunakan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa variasi concatenation secara signifikan memengaruhi kualitas citra MRI lumbal pada kasus Hernia Nucleus Pulposus (HNP). Penggunaan Concatenation 2 menghasilkan peningkatan yang signifikan pada Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR) dibandingkan Concatenation 1. Nilai rata-rata SNR pada Concatenation 2 untuk diskus intervertebralis mencapai 2039.61, jauh lebih tinggi daripada 56.73 pada Concatenation 1. Peningkatan serupa juga terlihat pada cairan serebrospinal, di mana SNR Concatenation 2 mencapai rata-rata 23829.41 dibandingkan 777.75 pada Concatenation 1. CNR juga menunjukkan perbedaan signifikan, dengan nilai rata-rata 18245.63 pada Concatenation 2 dibandingkan 1444.54 pada Concatenation 1. Uji Wilcoxon menunjukkan bahwa perbedaan ini signifikan dengan nilai $p < 0.05$, mengonfirmasi bahwa pengaturan concatenation berpengaruh besar terhadap kualitas citra.

Dengan peningkatan SNR dan CNR, Concatenation 2 memungkinkan visualisasi yang lebih jelas dan detail terhadap struktur lumbal, seperti diskus intervertebralis dan saraf, yang penting untuk mendiagnosis herniasi diskus dan kompresi saraf. Kualitas citra yang lebih tinggi ini mendukung akurasi diagnostik yang lebih baik, sehingga berkontribusi pada pengambilan keputusan klinis yang lebih tepat. Oleh karena itu, Concatenation 2 direkomendasikan sebagai pengaturan optimal dalam protokol klinis MRI lumbal pada pasien HNP, karena memberikan citra berkualitas tinggi dengan efisiensi pemeriksaan yang baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Akhir kata, penulis mengucapkan ribuan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan kesempatan untuk mengkaji lebih dalam penelitian ini serta kepada seluruh pihak yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis. Juga kepada kedua orang tua penulis yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Awadalla, A. M., Aljulayfi, A. S., Alrowaili, A. R., Souror, H., Alowid, F., Mahdi, A. M. M., Hussain, R., Alzahrani, M. M., Alsamarh, A. N., Alkhaldi, E. A., & Alanazi, R. C. (2023). Management of Lumbar Disc Herniation: A Systematic Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.47908>
- Azharuddin, A., Aryandono, T., Magetsari, R., & Dwiprahasto, I. (2022). Predictors of the conservative management outcomes in patients with lumbar herniated nucleus pulposus:

- A prospective study in Indonesia. *Asian Journal of Surgery*, 45(1), 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2021.05.015>
- Chen, S., Ross, T. J., Chuang, K. S., Stein, E. A., Yang, Y., & Zhan, W. (2010). A new approach to estimating the signal dimension of concatenated resting-state functional MRI data sets. *Magnetic Resonance Imaging*, 28(9), 1344–1352. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2010.04.002>
- Christin, T., Theng, L., Faisal, R. M., & Bahar, E. (2019). *Accuracy of Clinical Examination, Lumbosacral Radiography, and Electrodiagnosis in Suspected Patients With Lumbar Herniated Nucleus Pulposus*.
- Dayarathna, S., Islam, K. T., Uribe, S., Yang, G., Hayat, M., & Chen, Z. (2024). Deep learning based synthesis of MRI, CT and PET: Review and analysis. *Medical Image Analysis*, 92, 103046. <https://doi.org/10.1016/j.media.2023.103046>
- Demirturk Kocasarac, H., Kursun-Cakmak, E. S., Ustaoglu, G., Bayrak, S., Orhan, K., & Noujeim, M. (2020). Assessment of signal-to-noise ratio and contrast-to-noise ratio in 3 T magnetic resonance imaging in the presence of zirconium, titanium, and titanium-zirconium alloy implants. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 129(1), 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2019.08.020>
- Harmawan, E. W., Apriawan, T., Subagio, E. A., Faris, M., Utomo, S. A., Utomo, B., & Bajamal, A. H. (2022). Diagnostic accuracy of contrast and non-contrast 1.5 tesla magnetic resonance imaging for lumbar herniated nucleus pulposus based on surgical findings. *International Journal of Health Sciences*, 692–711. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns6.10200>
- Hiepe, P., Herrmann, K. H., Ros, C., & Reichenbach, J. R. (2011). Diffusion weighted inner volume imaging of lumbar disks based on turbo-STEAM acquisition. *Zeitschrift Fur Medizinische Physik*, 21(3), 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2010.10.009>
- Ladd, M. E., Bachert, P., Meyerspeer, M., Moser, E., Nagel, A. M., Norris, D. G., Schmitter, S., Speck, O., Straub, S., & Zaiss, M. (2018). Pros and cons of ultra-high-field MRI/MRS for human application. In *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy* (Vol. 109, pp. 1–50). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.pnmrs.2018.06.001>
- Lwanga, S. K., & Lemeshow, S. (n.d.). *Sample size determination in health studies : a practical manual*.
- Maulidya Maulidya, I., Wibowo, G. M., Murniati, E., Pascasarsajana, P., & Kesehatan, T. (2019). Penerapan Acceleration Factor terhadap Karakteristik Citra Diagnostik T2WI FSE pada MRI Lumbal Kasus Herniated Nucleus Pulposus (HNP). *Jurnal Imejing Diagnostik (JIImD)*, 5, 66–73. <http://ejournal.poltekkes-smg.ac.id/ojs/index.php/jimed/index>
- Mbarki, W., Bouchouicha, M., Frizzi, S., Tshibusu, F., Farhat, L. Ben, & Sayadi, M. (2020). Lumbar spine discs classification based on deep convolutional neural networks using axial view MRI. *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.inat.2020.100837>
- Mehta, P., Morrow, M., Russell, J., Madhuripan, N., & Habeeb, M. (2017). Magnetic Resonance Imaging of Musculoskeletal Emergencies. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 38(4), 439–452. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2017.04.001>
- Ract, I., Meadeb, J. M., Mercy, G., Cuff, F., Husson, J. L., & Guillin, R. (2015). A review of the value of MRI signs in low back pain. In *Diagnostic and Interventional Imaging* (Vol. 96, Issue 3, pp. 239–249). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2014.02.019>
- Ravi, D., Barkhof, F., Alexander, D. C., Puglisi, L., Parker, G. J. M., & Eshaghi, A. (2024). An efficient semi-supervised quality control system trained using physics-based MRI-

artefact generators and adversarial training. *Medical Image Analysis*, 91, 103033. <https://doi.org/10.1016/j.media.2023.103033>

Russo, F., Ambrosio, L., Giannarelli, E., Vorini, F., Mallio, C. A., Quattrocchi, C. C., Vadalà, G., Papalia, R., & Denaro, V. (2023). *Innovative quantitative magnetic resonance tools to detect early intervertebral disc degeneration changes: a systematic review*. *The Spine Journal*, 23(10), 1435–1450. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2023.05.011>

Vargas, M. I., Boto, J., & Meling, T. R. (2021). *Imaging of the spine and spinal cord: An overview of magnetic resonance imaging (MRI) techniques*. In *Revue Neurologique* (Vol. 177, Issue 5, pp. 451–458). Elsevier Masson s.r.l. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2020.07.005>