



## Peranan Teknik *Compressed Sense* (CS) pada Pemeriksaan MRI *Lumbosacral* dengan Kasus *Hernia Nucleus Pulposus* (HNP)

Muhammad Safruddin<sup>1</sup>, Anak Agung Aris Diartama<sup>2</sup>, Triningsih<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknologi Radiologi Pencitraan,  
Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi  
Jl Tukad Batanghari VII No. 21, Denpasar, Indonesia

Corresponding Author: Muhammad Safruddin  
email: muhamadsafrudinx7@gmail.com

### ABSTRACT

**Background:** The number of *Lumbosacral* MRI examinations at the Radiology Department of the Regional General Hospital of West Nusa Tenggara Province averages 80 patients per month, with the most common case being *Hernia Nucleus Pulposus* (HNP). The normal duration for each examination is 17-20 minutes. *Compressed Sense* (CS) was always activated during the author's observation of these examinations, reducing the total scan time for *Lumbosacral* MRI examinations to 8 minutes. In some MRI cases, there are challenges with non-cooperative patients, such as traumatic cases and being unable to supine position, which causes moving artifacts and makes image results blur, activating the CS technique can solve this problem making examination times faster. The research aims to analyze and describe the technique, the role of the technique, as well as the advantages and disadvantages of the CS technique in *Lumbosacral* MRI examinations for HNP cases.

**Methods:** This research is qualitative descriptive research with a case study and literature review approach. use 3 patients, 3 radiographers, dan 3 radiologists, do in March to April 2024. Data was collected by observation, deep interviews, and questionnaires for radiologists about image quality.

**Result:** Three patients with clinical HNP underwent *Lumbosacral* MRI examinations without any special preparation. The *Lumbosacral* MRI protocol includes Survey, Coronal T2W TSE, Sagittal T1W TSE, Sagittal T2W TSE, Sagittal T2W TSE SPIR, Axial T1W TSE, Axial T2W TSE, and MYELO Radial. The protocols use the CS technique with a reduction score of 1.4, except MYELO Radial, which can reduce scan time to 7-10 minutes without decreasing image quality. The sequences used serve to provide anatomical information and pathology in the *lumbosacral* area.

**Conclusions:** *Lumbosacral* MRI examinations using the *Compressed Sense* technique can shorten the examination time without significantly reducing the quality of the images produced, it proved by the questionnaire result. This can increase patient comfort during the examination. The use of reduction values in this CS technique must be considered as it can increase the value of *Peripheral Nerve Stimulation* (PNS).

**Keywords:** *Compressed Sense*; *Hernia Nucleus Pulposus*; *Lumbosacral*; *Magnetic Resonance Imaging*

### Pendahuluan

Vertebra *lumbal* adalah salah satu bagian dari *columna vertebra* yang terdiri dari lima ruas dan memiliki ukuran yang lebih besar dengan ruas vertebra *cervical* dan *thoracal*. *Procesus spinosus* berbentuk seperti kapak kecil dan lebar. *Procesus transversus* panjang dan ramping. Ruas vertebra *lumbal* kelima membentuk sendi dengan sakrum yaitu sendi *lumbosacral* (Van Putter dkk., 2017). *Nucleus pulposus* memiliki kandungan air, kolagen tipe, sel kondrosit, dan proteoglikan,

sehingga membuat bantalan sendi tersebut menjadi elastis, fleksibel ketika terjadi tekanan maupun pada saat melengkung (Chen S dkk., 2017)

Beberapa penyakit sering terjadi di daerah vertebra terutama pada tulang *lumbal* diantaranya yaitu *disc prolapse* dengan kompresi pada *nerve root*, *spinal dysraphism*, *Discitis*, *Screening sumpsung tulang*, *Failed back syndrome*, Kelainan kongenital kelengkungan tulang belakang (*Scoliosis* dan *Kifosis*), *Hernia Nukleus Pulposus* (HNP) (Agung A dkk., 2021). Kelainan pada tulang belakang sebagian besar individu terjadi tanpa

gejala seiring dengan bertambahnya usia (Brinjikji W dkk., 2015; Kovacs FM dkk., 2014)

*Hernia Nucleus Pulposus* (HNP) merupakan suatu klinis terjadinya penonjolan (*bulging nucleus pulposus*) dimana bagian tengah dari diskus intervertebralis yang bersifat semi-gelatinosa, kearah kanalis spinalis akibat rupturnya annulus fibrosus yang mengelilingi diskus. Hal ini dapat mengakibatkan nyeri leher yang menjalar ke ekstremitas atas sekiranya HNP terjadi pada segmen *cervical* dan *thoracal*, atau nyeri punggung bawah yang menyebar ke bokong dan ekstremitas bawah sekiranya HNP terjadi pada segmen lumbal. Penonjolan diskus tersebut dapat mengenai serabut saraf dari kanalis spinalis yang dapat menyebabkan radikulopati segmental dengan parestesia serta kelemahan pada serabut saraf yang terkena HNP juga sering didefinisikan sebagai hernia diskus intervertebralis, *ruptured disc*, *slipped disc*, atau *prolapsed disc* (Fardon DF dkk., 2014).

Dengan keparahan progresif kompresi akar saraf, gangguan refleks, gangguan sensorik (hipestesia, hiperalgesia), dan kelemahan motorik dapat terjadi. Abnormalitas sensorik dan defisit motorik ditemukan pada lebih dari separuh pasien HNP. Lokasi hilangnya sensorik atau motorik dari defisit neurologis ini tidak cukup sensitif untuk menentukan tingkat keparahan HNP yang tepat (Fjeld OR dkk., 2019).

Modalitas *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dapat memperlihatkan diskus intervertebralis, otot, serta kelainan pada sumsum tulang belakang (Agung A dkk., 2021). Pemeriksaan kasus HNP dengan MRI memiliki akurasi diagnostik 97%. Seringkali, MRI dilakukan sebelum radiografi; Namun, dalam meta-analisis dari 20 studi yang mengevaluasi MRI pasien tanpa gejala diperoleh hasil bahwa MRI tidak boleh dilakukan pada presentasi awal pasien dengan dugaan herniasi diskus akut tanpa gejala dan tanda-tanda gangguan neurologis karena pasien ini sering membaik setelah enam minggu terapi fisik dan pengobatan, dan MRI kemungkinan merupakan beban keuangan dan pemanfaatan yang tidak perlu dalam presentasi awal.

Herniasi diskus pada pencitraan harus dikorelasikan dengan temuan klinis objektif. Pasien dengan riwayat dan temuan klinis yang konsisten dengan herniasi lumbal dengan radikulopati, MRI direkomendasikan sebagai tes noninvasif yang tepat untuk mengkonfirmasi adanya herniasi lumbal (Benzakour T dkk., 2019) Sekuen yang digunakan dalam pemeriksaan MRI *lumbal* diantaranya sagittal T1 SE/FSE, sagittal T2 SE/FSE, axial T1 SE/FSE, axial T2 SE/FSE, coronal T1 SE/FSE, dan

STIR dengan mengambil tiga potongan yaitu sagittal, coronal dan axial (Westbrook, 2014). Waktu pemeriksaan MRI biasanya akan tergantung dari lamanya akuisisi dan pengaturan dari parameter yang digunakan (Lebel, 2020). Beberapa tahun terakhir pengembangan *Artificial Intelligence* (AI) terutama *Deep Learning* (DL) berkembang secara pesat untuk mengembangkan dalam pencitraan diagnostik seperti kalsifikasi gambar, segmentasi, pembacaan hasil, mengurangi kebisingan, meningkatkan resolusi dan merubah gambar. (DavenportT & Kalakota, 2019; JTPD H dkk., 2021; Lewandrowski KU dkk., 2020; Tsai JY dkk., 2021)

*Compressed Sensing* (CS) merupakan teknik rekonstruksi sinyal dimana terjadi proses *undersampling* untuk mendapatkan percepatan waktu akuisisi. CS adalah teknik baru dengan kompresi tinggi tanpa degradasi apapun. Metode CS menggunakan *K-space undersampling* secara tidak proporsional pada wilayah sebaran data normal. CS bertujuan untuk merekonstruksi data yang tidak disampaikan dalam perhitungan matematis seperti metode iteratif. CS banyak digunakan dalam *Magnetic Resonance Angiography* (MRA), *Dynamic Contrast Enhanced MRI*, *Cardiac MRI*, *Musculoskeletal MRI*, *Brain and Spine checks* (Matcuk GR dkk., 2020; Ye, 2019).

Kerangka kerja dari CS telah diaplikasikan di beberapa program untuk menyediakan rekonstruksi data yang masih kekurangan sample. Teknik CS diterapkan pada MRI berguna untuk percepatan waktu akuisisi dan telah dibuktikan pada program metode MRI (Geethanath S dkk., 2013). Teknik CS yang dimiliki masing-masing vendor mempunyai nama yang berbeda-beda. Di pesawat GE disebut *Hypersense*, Siemens disebut *Compress Sensing*, dan Philips disebut *Compressed Sense*.

Berdasarkan studi yang penulis lakukan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat, Jumlah Pemeriksaan MRI *Lumbal* rata-rata 80 pasien setiap bulan dengan kasus terbanyak yaitu HNP, dan dilakukan pemeriksaan MRI dengan protokol MRI *Lumbosacral* yang terdiri dari *Survey*, Coronal T2W TSE, Sagittal T1W TSE, Sagittal T2W TSE, Sagittal T2W TSE SPIR, Axial T1W TSE, Axial T2W TSE, dan *MYELO Radial*. Dari setiap sekuen kecuali sekuen *MYELO Radial*, teknik CS selalu diaktifkan sehingga total *scan time* pada pemeriksaan MRI *Lumbal* menjadi 7-10 menit, dibandingkan tanpa teknik CS total *scan time* akan bertambah menjadi 17-20 menit. Dalam beberapa kasus pasien MRI terdapat tantangan yaitu pasien non kooperatif seperti kasus pasca trauma dan pasien tidak bisa

tidur terlentang lebih dari 10 menit. sehingga membutuhkan waktu pemeriksaan yang lebih cepat, dengan diaktifkannya teknik CS permasalahan tersebut dapat diatasi. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengkaji lebih dalam mengenai teknik CS pada pemeriksaan MRI *Lumbosacral*.

## Metode

Desain penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus.. Metode pengumpulan data meliputi observasi, wawancara mendalam dan dokumentasi terkait dalam prosedur pemeriksaan MRI *Lumbosacral*. Subyek penelitian ini terdiri dari 3 Radiografer yang memiliki sertifikat pelatihan MRI, 3 Dokter Spesialis Radiologi, dan 3 pasien MRI *Lumbosacral* dengan diagnosa HNP. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-April 2024 di Instalasi Radiologi RSUD Provinsi NTB. Dalam hal kerahasiaan penelitian, setiap pasien dan responden diminta untuk menandatangani surat persetujuan tindakan, pengambilan data dan identitas masing-masing tidak dicantumkan.

Analisa data dilakukan secara deskriptif dibandingkan dengan literasi dan kualitatif melalui penilaian kualitas citra dilakukan dengan cara wawancara tidak terstruktur dan pengisian lembar kuesioner. Kuesioner penilaian tentang spasial resolusi, *noise* dan detail anatomi yang di isi oleh dokter spesialis radiologi,

## Hasil dan Pembahasan

Sebanyak 3 pasien dengan klinis HNP, melakukan pemeriksaan MRI *Lumbosacral*. Hasil observasi dan wawancara dengan radiografer diantaranya: tidak ada persiapan khusus yang perlu dilakukan sebelum pemeriksaan MRI *Lumbosacral*, pasien hanya melepaskan benda logam yang dapat mengganggu gambaran dan *coil* yang digunakan adalah *coil body*. Pasien tidur terlentang diatas meja pemeriksaan, central point yang dibantu dengan sinar laser berada pada pertengahan bidang tubuh setinggi krista iliaka. parameter yang digunakan terhadap ketiga pasien MRI *Lumbosacral* pada kasus HNP di Instalasi Radiologi RSUD NTB sebagai table 1 dan table 2.

Penggunaan teknik CS perlu memperhatikan nilai reduction yang digunakan dan kekuatannya, karena hal tersebut dapat mempengaruhi nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR). Nilai *reduction* yang digunakan pada pemeriksaan MRI *Lumbosacral* adalah 1.4 dengan kekuatan *medium* menghasilkan nilai SNR tertinggi 1.20 dan dapat meningkatkan

nilai *Peripheral Nerve Stimulation* (PNS) 1% sehingga pasien terasa lebih hangat ketika dilakukan *scanning*.

**Table 1.** Protokol sekuen MRI *lumbosacral* non kontras dengan teknik CS

Sekuen	FOV (mm)	Slice thickness (mm)	TR (ms)	TE (ms)	Scan time (s)	Relative SNR	Reduction CS
Sag T2	350	4	2.924	100	54	1.2	1.4
Sag T1	350	4	400	12	68	1.03	1.4
Sag T2 SPIR	350	4	3.125	100	59	1.14	1.4
Cor T2	350	4	2.500	100	45	1.12	1.4
Axial T2	200	4	2.208	120	63	1.11	1.4
Axial T1	200	4	400	7.5	55	1.05	1.4
Meylo radial	350	40	8000	1000	150	1	-

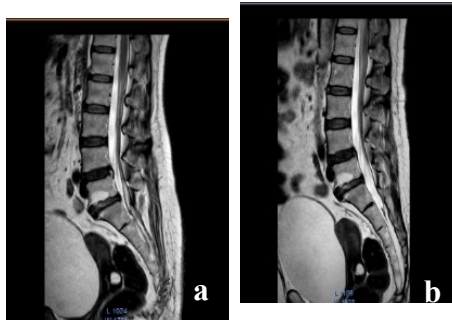
**Table 2.** Protokol sekuen MRI *lumbosacral* non kontras tanpa teknik CS

Sekuen	FOV (mm)	Slice thickness (mm)	TR (ms)	TE (ms)	Scan time (s)	Relative SNR
Sag T2	350	4	2.924	100	125	1
Sag T1	350	4	400	12	134	1
Sag T2 SPIR	350	4	3.125	100	145	1
Cor T2	350	4	2.500	100	126	1
Axial T2	200	4	2.208	120	146	1
Axial T1	200	4	400	7,5	154	1
Meylo radial	350	40	8000	1000	150	1

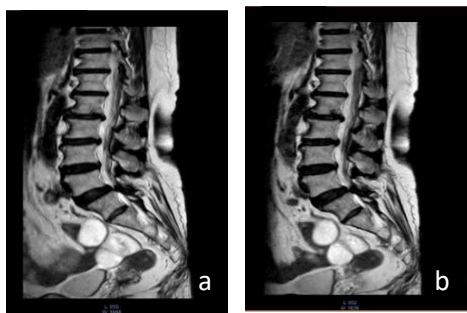
Durasi pemeriksaan MRI *Lumbosacral* pada umumnya adalah 17-20 menit, dengan adanya teknik CS, durasi pemeriksaan MRI *Lumbosacral* di Instalasi Radiologi RSUD NTB menjadi 7-10 menit tanpa mempengaruhi kualitas gambar yang signifikan. Hal tersebut dikarenakan kinerja CS yang lebih baik yaitu teknologi CS lebih cocok untuk mempercepat akuisisi data dari hight dimensional yang mana pada data tersebut dapat menekan waktu akuisisi. Selain itu, teknik *compressed sense* ini dapat digunakan pada pasien dengan kondisi gawat darurat atau tidak dapat berbaring terlalu lama tanpa pendampingan anestesi karena durasi pemeriksaan yang singkat.

Teknik *compressed sense* (CS) dengan sequence FSE dapat digunakan untuk mengurangi panjang rangkaian echo dengan faktor reduksi pMRI, faktor reduksi yang pada gilirannya memungkinkan *scanning* memiliki lebih banyak irisan dengan TR yang diberikan, hal ini dapat menggunakan Parallel imaging dengan sequence FSE untuk mengurangi waktu akuisisi echo-train, meminimalkan keburaman yang bergantung pada pembobotan T2 (Yanasak NE & Kelly, 2014).

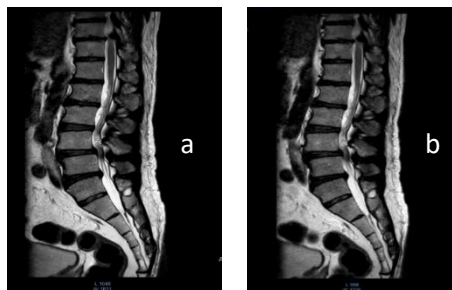
Hasil citra yang diperoleh sesuai dengan scanning yang dilakukan sebagai berikut:



**Gambar 1.** Sekuen Sag T2 pada pasien 1 (a) Teknik CS (b) Tanpa teknik CS



**Gambar 2.** Sekuen Sag T2 pada pasien 2 (a) Teknik CS (b) Tanpa teknik CS



**Gambar 3.** Sekuen Sag T2 pada pasien 3 (a) Teknik CS (b) Tanpa teknik CS

Hasil observasi dan wawancara dengan dokter spesialis radiologi, di Instalasi Radiologi RSUD NTB MRI adalah modalitas utama yang digunakan untuk melihat kelainan yang terdapat pada tulang belakang seperti HNP. Sekuen T2 memiliki kontras yang baik untuk memvisualisasikan cairan dan lemak, dan berfungsi untuk melihat kelainan seperti lesi atau peradangan pada organ yang diperiksa. Sekuen T1 untuk evaluasi anatomi. Sekuens T2 *Spectral Presaturation Inversion Recovery* (SPIR) berfungsi untuk evaluasi lemak dengan kelainan dan membantu untuk menkonfirmasi kelainan yang berdekatan dengan lemak.

Untuk menilai citra MRI *Lumbosacral* dengan teknik CS pada kasus HNP dilakukan dengan pengisian kuisisioner penilaian. Responden akan memberikan skor penilaian terhadap hasil kualitas

citra sekuen Sag T2 dengan teknik CS dengan skala penilaian 1 hingga 5 sesuai dengan kriteria yang ditentukan oleh peneliti dengan menggunakan skala interval berjarak 8.

**Tabel 3.** Kelas Interval

Bobot	Kategori
43-50	Sangat jelas
35-42	Jelas
27-34	Cukup jelas
19-26	Tidak jelas
10-18	Sangat tidak jelas

Berikut hasil penelitian yang dilakukan pada 3 pasien dengan penilaian 3 dokter radiologi pada penggunaan teknik CS dalam sekuen Sag T2.

**Tabel 4.** Penilaian Detail Anatomi pada Penggunaan Teknik CS dalam Sekuen Sag T2 *Lumbosacral*

Interval	Kategori	Frekuensi	Persentase
43-50	Sangat jelas	0	0%
35-42	Jelas	3	100%
27-34	Cukup jelas	0	0%
19-26	Tidak jelas	0	0%
10-18	Sangat tidak jelas	0	0%
Total		3	100

**Tabel 5.** Penilaian Spasial Resolusi pada Penggunaan Teknik CS dalam Sekuen Sag T2 *Lumbosacral*

Interval	Kategori	Frekuensi	Persentase
43-50	Sangat jelas	0	0%
35-42	Jelas	3	100%
27-34	Cukup jelas	0	0%
19-26	Tidak jelas	0	0%
10-18	Sangat tidak jelas	0	0%
Total		3	100

**Tabel 6.** Penilaian *Noise* pada Penggunaan Teknik CS dalam Sekuen Sag T2 *Lumbosacral*

Interval	Kategori	Frekuensi	Persentase
43-50	Sangat jelas	0	0%
35-42	Jelas	3	100%
27-34	Cukup jelas	0	0%
19-26	Tidak jelas	0	0%
10-18	Sangat tidak jelas	0	0%
Total		3	100

Berdasarkan tabel 4, penilaian detail anatomi kategori jelas antara *Corpus Lumbalis*, *Discus Intervertebral Lumbalis* dan *Medulla Spinalis* memiliki presentase 100 persen.

Berdasarkan tabel 5, penilaian spasial resolusi kategori jelas batasan antara *Corpus Lumbalis*, *Discus Intervertebral Lumbalis* dan *Medulla Spinalis* memiliki presentase 100 persen. Berdasarkan tabel 6, penilaian *noise* kategori jelas memiliki presentase 100 persen. Menurut penulis dari gambar yang didapatkan tidak terdapat

perbedaan kualitas citra yang signifikan antara gambaran dengan teknik CS ataupun tanpa teknik CS, perbedaan intensitas sinyal pada cairan maupun lemak masih jelas dan masih dapat dinilai dengan baik.

Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mahdiyana (2021), Meister (2021), Bratke G dkk., (2019) bahwa peranan teknik *Compressed Sensing* (CS) dapat menurunkan waktu *scanning* tanpa adanya degradasi *image quality* sehingga tidak mengurangi ketepatan diagnostik, pengurangan waktu ini bisa mencapai setengah dari waktu yang digunakan sebelumnya, dan menurunkan pengeluaran energi.

## Simpulan

Prosedur pemeriksaan MRI *Lumbosacral* pada kasus HNP di Instalasi Radiologi RSUD NTB dilakukan dengan protokol MRI *Lumbosacral* yang terdiri dari *Survey*, Coronal T2W TSE, Sagital T1W TSE, Sagital T2W TSE, Sagital T2W TSE SPIR, Axial T1W TSE, Axial T2W TSE, dan MYELO *Radial*. Sekuen-sekuen yang digunakan berfungsi untuk memberikan informasi anatomi maupun patologi yang ada pada daerah *lumbosacral*.

Pemeriksaan MRI *Lumbosacral* dengan teknik *Compressed Sense* (CS) dapat mempersingkat waktu pemeriksaan, tanpa menurunkan kualitas citra yang dihasilkan secara signifikan. Hal tersebut dapat meningkatkan kenyamanan pasien selama pemeriksaan. Perhatikan penggunaan nilai *reduction* pada teknik CS karena dapat menyebabkan peningkatan nilai *Peripheral Nerve Stimulation* (PNS).

## Daftar Pustaka

Agung, A. Adityawarma, H. Nyoman, I. wayudana, G. (2021). Case Report Herniasi Nucleus Pulposus Lumbal Multiple Disertai Kanal Stenosis Dengan Drop Foot Syndrom dan Atrofi Otot Unilateral. *Intisari Sains Medis*.

Benzakour, T. Igoumenou, V. Mavrogenis, AF. Benzakour, A. (2019). Current concepts for lumbar disc herniation. *Int Orthop*.

Bratke, G. Rau, R. Weiss, K. Kabbasch, C. Sircar, K. Morelli, J. et al. (2019). Accelerated MRI of The Lumbar Spine Using Compressed Sensing: Quality And Efeciency. *J Magn Reson Imaging*.

Brinjikji, W. Luetmer, PH. Comstock, B. Bresnahan, BW. Chen, LE. Deyo, R. et al. (2015). Systematic Literature Review Of Imaging Features of Spinal Degeneration in Asymptomatic Populations. *AJNR Am J*

*Neuroradiol*.

Chen, S. Fu, P. Wu, H. Pei, M. (2017). Meniscus, Articular Cartilage And Nucleus Pulposus: A Comparative Review of Cartilage-Like Tissues in Anatomy, Development and Function. *Cell Tissue*.

Davenport, T. Kalakota, R. (2019). The Potential for Artificial Intelligence in Healthcare. *Future Healthc J*.

Fardon, DF. Williams, AL. Dohring, EJ. Murtagh, FR. Gabriel Rothman, S. et al. (2014). Lumbar Disc Nomenclature: Version 2.0 Recommendations of the combined task forces of the North American Spine Society, the American Society of Spine Radiology and the American Society of Neuroradiology. *In Spine Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2014.04.022>

Fjeld, OR. Grøvle, L. Helgeland, J. Småstuen, MC. Solberg, TK. Zwart, J. et al. (2019). Complications, reoperations, readmissions, and length of hospital stay in 34 639 surgical cases of lumbar disc herniation. *Bone Joint J*.

Geethanath, S. Rashmi, R. Amaresha, SK. Shaikh, I. et al. (2013). Compressed sensing MRI: A Review. *Critical Reviews<sup>TM</sup> in Biomedical Engineering*.

JTPD, H. Zhu, L. Yang, K. Makmur, A. DAR, A. Thian, Y. e. al. (2021). Deep Learning Model for Automated Detection and Classification of Central Canal, Lateral Recess, and Neural Foraminal Stenosis at Lumbar Spine MRI. *Radiology*.

Kovacs, FM. Arana, E. Royuela, A. Estremera, A. Amengual, G. Asenjo, B. et al. (2014). Disc Degeneration and Chronic Low Back Pain: An Association Which Becomes Nonsignificant when Endplate Changes and Disc Contour are Taken into Account. *Neuroradiology*.

Lebel, R. (2020). Performance Characterization of A Novel Deep Learning-Based MR Image Reconstruction Pipeline. *ArXiv*. <http://arxiv.org/abs/2008.06559>.

Lewandrowski, KU. Muraleedharan, N. Eddy, SA. Sobti, V. Reece, BD. Ramirez León, J. et al. (2020). Feasibility of Deep Learning Algorithms for Reporting in Routine Spine Magnetic Resonance Imaging. *Int J Spine Surg*.

Mahdiyana, H. (2021). Peranan Teknik Compressed Sensing (CS) Pada Pemeriksaan MRI Knee Joint Sekuen 3D Fast Spin Echo (FSE). *Repository Poltek Semarang*.

Matcuk, GR. Gross, JS. Fritz, J. (2020). Compressed Sensing MRI Technique and

- Clinical Applications. *Advances in Clinical Radiology*.  
<https://doi.org/10.1016/j.yacr.2020.06.008>
- Meister, R. (2021). Compressed Sense in Pediatric Brain Tumor MR Imaging: Assessment of Image Quality, Examination Time and Energy Release. *Springer Link*.  
<https://doi.org/10.1007/s00062-021-01112-3>
- Tsai, JY. Hung, IY. Guo, YL. Jan, YK. Lin, CY. Shih, T. et al. (2021). Lumbar disc herniation automatic detection in magnetic resonance imaging based on deep learning. *Front Bioeng Biotech*.
- Van Putter, C. Regan, J. Russo, A. Seeley, R. Stephens, T. Tate, P. (2017). *Seeley's Anatomy & Physiology* (Eleventh). . McGraw Hill Education.
- Westbrook. (2014). *Handbook of MRI Technique* (4th ed.). In Wiley Blackwell.
- Yanasak, NE. Kelly, M. (2014). MR Imaging Artifacts And Parallel Imaging Techniques With Calibration Scanning: A New Twist On Old Problems. *Radiographics*.  
<https://doi.org/10.1148/rg.342135051>
- Ye, J. (2019). Compressed Sensing MRI: A Review from Signal Processing Perspective. *BMC Biomed Eng* 1.  
<https://doi.org/10.1186/s42490-019-0006-z>