

**KORELASI DERAJAT PENEKANAN RADIKS SARAF DENGAN
DERAJAT ATROFI MULTIFIDUS LUMBAL PADA PASIEN
HNP DI RSUD DR. H. ABDUL MOELOEK 2023–2025**

(Skripsi)

**Oleh:
TIARA DWI SEPTI KHARIS
2218011193**



**FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**KORELASI DERAJAT PENEKANAN RADIKS SARAF DENGAN
DERAJAT ATROFI MULTIFIDUS LUMBAL PADA PASIEN
HNP DI RSUD DR. H. ABDUL MOELOEK 2023–2025**

Oleh:

**TIARA DWI SEPTI KHARIS
2218011193**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
SARJANA KEDOKTERAN**

Pada

**Program Studi Pendidikan Dokter
Fakultas Kedokteran Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : **KORELASI DERAJAT PENEKANAN
RADIKS SARAF DENGAN DERAJAT
ATROFI MULTIFIDUS LUMBAL
PADA PASIEN HNP DI RSUD DR. H.
ABDUL MOELOEK 2023-2025**

Nama Mahasiswa : **Tiara Dwi Septi Kharis**

No. Pokok Mahasiswa : 2218011193

Program Studi : **PENDIDIKAN DOKTER**

Fakultas : **KEDOKTERAN**



1. Komisi Pembimbing

dr. Muhammad Ricky Ramadhian, M.Sc., Sp.Rad.
NIP 198306152008121001

Ramadhana Komala, S.Gz., M.Si.
NIP 199103242022031006

2. Dekan Fakultas Kedokteran



Dr. dr. Evi Kurmawaty, S.Ked., M.Sc.
NIP 197601202003122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **dr. Muhammad Ricky Ramadhian, M.Sc., Sp.Rad.**



Sekretaris : **Ramadhana Komala, S.Gz., M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. dr. Anggi Setiorini, M.Sc., AIFO-K**



2. Dekan Fakultas Kedokteran



Dr. dr. Evi Kurniawaty, S.Ked., M.Sc.
NIP 197601202003122001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **06 Januari 2026**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi dengan judul **“KORELASI DERAJAT PENEKANAN RADIKS SARAF DENGAN DERAJAT ATROFI MULTIFIDUS LUMBAL PADA PASIEN HNP DI RSUD DR. H. ABDUL MOELOEK 2023–2025”** adalah hasil karya saya sendiri dan tidak melakukan penjiplakan atas karya penulis lain dengan cara tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam akademik atau yang dimaksud dengan plagiarisme.
2. Hak Intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya.

Bandar Lampung, Desember 2025

Penulis



Tiara Dwi Septi Kharis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Prabumulih, Sumatera Selatan pada tanggal 14 September 2004, sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari Bapak Julian dan Ibu Hertini. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Al-Farabi pada tahun 2010, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 13 Rambang Danguku pada tahun 2016, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Negeri 4 Prabumulih pada tahun 2019 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri Sumatera Selatan pada tahun 2022. Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai mahasiswi Fakultas Kedokteran Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswi, penulis merupakan Asisten Dosen Patologi Anatomi tahun 2024-2025, mengikuti organisasi LUNAR Medical Research Community Fakultas Kedokteran Universitas Lampung tahun 2022-2025 dan aktif menjadi anggota *Center for Indonesian Medical Students' Activities* (CIMSAs).

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul *“Korelasi Derajat Penekanan Radiks Saraf dengan Derajat Atrofi Multifidus Lumbal pada Pasien HNP Berdasarkan MRI di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek 2023–2025”*.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat masukan, bantuan, dorongan, saran, bimbingan, dan kritik dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM, ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. dr. Evi Kurniawaty, S.Ked., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.
3. Dr. dr. Indri Windarti, S.Ked., Sp.PA., selaku Ketua Jurusan Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.
4. dr. Intanri Kurniati, S.Ked., Sp.PK., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Dokter Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.
5. dr. Muhammad Ricky Ramadhian, M.Sc., Sp.Rad., selaku Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing, memberikan kritik dan saran. Terima kasih atas segala dukungan dan nasihat yang diberikan selama proses penyusunan skripsi, penulis sangat menghargai ilmu yang telah diberikan.
6. Ramadhana Komala, S.Gz., M.Si., selaku Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu dan tenaga, serta dengan sabar memberikan

bimbingan, dukungan, kritik, saran yang membangun dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis hingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini

7. Dr. dr. Anggi Setiorini, S.Ked., M.Sc., AIFO-K, selaku Penguji yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan masukan, kritik, saran, dan pembahasan yang bermanfaat dalam proses penyelesaian skripsi yang tidak akan pernah saya lupakan. Terima kasih atas bimbingan, arahan dan nasihat yang selalu diberikan selama proses penyusunan skripsi ini
8. Dr. dr. Reni Zuraida, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan masukan, dukungan, dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan di Fakultas Kedokteran Universitas Lampung.
9. Seluruh dosen, staf, dan civitas akademika Fakultas Kedokteran Universitas Lampung atas Ilmu, waktu, serta bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
10. Kedua orang tua penulis, Bapak Julian dan Ibu Hertini yang telah memberikan segalanya sepenuh hati untuk membesarkan dan mendidik penulis. Terima kasih atas doa yang senantiasa dipanjatkan dalam setiap sujud, setiap keringat dan ketulusan yang mengalir dalam menemani penulis menyelesaikan studi, serta dukungan, cinta dan kasih sayang yang tiada henti.
11. Kakak penulis, Brian Sona Ilham yang telah menjadi sosok pelindung dan mendukung penulis. Terima kasih atas semua bentuk kasih sayang dan ketulusan yang diberikan. Nenek Kecil, Nenek Jantan dan seluruh keluarga besar yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas doa, dukungan dan kasih sayang yang menemani setiap langkah penulis.
12. Sahabat seperjuangan yang penulis banggakan, Ratu, Indi, Pipit, Bigel, Vira, Nisrina, Desvira, Aprili, Loisa, Arsyia, Charen, Devi, Karina, Dinda, Salsa, Melati, Monica, Nawra, Ansor, Auni, Kak Shervia, Kak Jaya, Hornbill House 11th Intake, DPA 16uprofen, Angkatan 2022 FK Unila (Troponin Tropomiosin) terima kasih atas semangat, bantuan, canda tawa, dan kebersamaan dalam suka maupun duka, tanpa kalian perjalanan ini tidak akan seindah dan sekuat ini.
13. Terakhir untuk diriku sendiri, terima kasih sudah bertahan sejauh ini. Terima kasih tetap tersenyum di pagi hari dan tetap berusaha meski terkadang hal-hal

yang di luar kendali diri kita terasa sangat berat. Terima kasih senantiasa bersyukur dan percaya bahwa disetiap kesulitan itu ada kemudahan. Terima kasih Tiara Dwi Septi Kharis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik serta saran yang bersifat membangun. Penulis juga berharap karya ini dapat memberi manfaat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung,

Penulis

Tiara Dwi Septi Kharis

ABSTRACT

CORRELATION BETWEEN THE GRADING OF NERVE ROOT COMPRESSION AND THE GRADING OF LUMBAR MULTIFIDUS ATROPHY IN LDH PATIENTS AT RSUD DR. H. ABDUL MOELOEK 2023–2025

By

Tiara Dwi Septi Kharis

Background: Lumbar disc herniation (LDH) is a major contributor to low back pain and frequently results in spinal nerve root compression. This study aims to examine the association between the grading of nerve root compression and the grading of lumbar multifidus muscle atrophy in individuals diagnosed with lumbar disc herniation.

Methods: This quantitative study employed a retrospective cross-sectional design using secondary data from 106 medical records and lumbosacral MRI scans of patients with LDH. The degree of nerve root compression was assessed using the Pfirrmann classification, while lumbar multifidus muscle atrophy was evaluated using the Kader classification. Quantitative measurements of muscle atrophy were performed using ImageJ and Fiji software. Bivariate analysis was conducted using the Gamma correlation test.

Results: The correlation analysis using the Gamma test showed a statistically significant association between the degree of nerve root compression and the degree of lumbar multifidus muscle atrophy ($r = 0.905$, $p = 0.000$).

Conclusion: The grade of nerve root compression showed a statistically significant correlation with the grade of lumbar multifidus muscle atrophy among patients with herniated nucleus pulposus.

Keywords: Lumbosacral MRI, lumbar disc herniation, multifidus muscle atrophy, nerve root compression

ABSTRAK

KORELASI DERAJAT PENEKANAN RADIKS SARAF DENGAN DERAJAT ATROFI MULTIFIDUS LUMBAL PADA PASIEN HNP DI RSUD DR. H. ABDUL MOELOEK 2023–2025

Oleh

Tiara Dwi Septi Kharis

Latar Belakang: Hernia nukleus pulposus (HNP) merupakan penyebab utama nyeri punggung bawah dan sering menimbulkan penekanan radiks saraf. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi hubungan antara derajat penekanan radiks saraf dan derajat atrofi muskulus multifidus lumbal pada pasien HNP.

Metode: Penelitian kuantitatif dengan desain potong lintang retrospektif menggunakan data sekunder berupa 106 rekam medis dan hasil MRI lumbosakral pasien HNP. Derajat penekanan radiks saraf dinilai menggunakan klasifikasi Pfirrmann, sedangkan derajat atrofi muskulus multifidus lumbal dinilai menggunakan klasifikasi Kader. Pengukuran atrofi dilakukan secara kuantitatif menggunakan aplikasi ImageJ dan Fiji. Analisis bivariat dilakukan menggunakan uji korelasi Gamma.

Hasil: Didapatkan nilai signifikansi (p) = 0,000 dan $r = 0,905$ pada analisis korelasi derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi multifidus lumbal menggunakan uji Korelasi Gamma.

Kesimpulan: Terdapat korelasi yang signifikan antara derajat penekanan radiks saraf dan derajat atrofi muskulus multifidus pada pasien HNP.

Kata kunci: Atrofi muskulus multifidus, Hernia nukleus pulposus, MRI lumbosakral, Penekanan radiks saraf.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Tujuan Umum	5
1.3.2 Tujuan Khusus	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.4.1 Manfaat Bagi Peneliti.....	6
1.4.2 Manfaat Bagi Objek Penelitian	6
1.4.3 Manfaat Bagi Institusi	7
1.4.4 Manfaat Bagi Masyarakat	7
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 8
2.1 Anatomi Tulang Belakang.....	8
2.1.1 Ruas Tulang Belakang	9
2.1.2 Diskus Intervertebralis	11
2.1.3 Kanalis Vertebralis.....	14
2.1.4 Otot Tulang Belakang	19

2.2 Hernia Nukleus Pulposus	24
2.2.1 Epidemiologi dan Prevalensi	25
2.2.2 Etiologi dan Faktor Risiko	26
2.2.3 Patofisiologi	28
2.2.4 Lokasi Hernia Nukleus Pulposus	29
2.2.5 Derajat Hernia Nukleus Pulposus	30
2.2.6 Manifestasi Klinis	31
2.2.7 Pemeriksaan Fisik	31
2.2.8 Pemeriksaan Penunjang Radiologis	33
2.2.9 Tatalaksana.....	37
2.3 Penekanan Radiks Saraf	40
2.3.1 Hubungan Radiks Saraf Spinalis dan Vertebra.....	40
2.3.2 Klasifikasi Derajat Penekanan Radiks Saraf.....	41
2.4 Atrofi Muskulus Multifidus.....	43
2.4.1 Patofisiologi	44
2.4.2 Klasifikasi Muskulus Multifidus Lumbal	44
2.4.3 Patogenesis Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal dengan Hernia Nukleus Pulposus	46
2.5 Kerangka Teori.....	48
2.6 Kerangka Konsep	49
2.7 Hipotesis Penelitian	49
2.7.1 Hipotesis Nol (H0)	49
2.7.2 Hipotesis Alternatif (H1)	49
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	50
3.1 Desain Penelitian	50
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	50
3.2.1 Lokasi Penelitian.....	50

3.2.2 Waktu Penelitian	50
3.3 Populasi dan Sampel Penelitian.....	50
3.3.1 Populasi Penelitian.....	50
3.3.2 Sampel Penelitian.....	51
3.3.3 Besar Sampel Penelitian.....	51
3.3.4 Teknik Pengambilan Sampel	52
3.4 Identifikasi Variabel Penelitian	52
3.4.1 Variabel Bebas	52
3.4.2 Variabel Terikat	52
3.5 Kriteria Sampel.....	53
3.5.1 Kriteria Inklusi	53
3.5.2 Kriteria Eksklusi	53
3.6 Kriteria Sampel.....	54
3.7 Instrumen Penelitian.....	55
3.8 Prosedur dan Alur Penelitian.....	55
3.8.1 Prosedur Penelitian	55
3.8.2 Pengukuran Derajat Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal	56
3.8.3 Pengukuran Derajat Penekanan Radiks Saraf.....	60
3.8.4 Alur Penelitian	61
3.9 Manajemen Data.....	61
3.9.1 Sumber Data.....	61
3.9.2 Analisis Data	62
3.10 Etik Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1 Gambaran Umum Penelitian	64
4.2 Hasil Penelitian.....	65
4.2.1 Karakteristik Responden	65

4.2.2 Analisis Univariat	66
4.2.3 Analisis Bivariat	68
4.3 Pembahasan	70
4.3.1 Karakteristik Responden	70
4.3.2 Derajat Penekanan Radiks Saraf	74
4.3.3 Derajat Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal	76
4.3.4 Korelasi Derajat Penekanan Radiks Saraf dengan Derajat Atrofi Muskulus Multifidus	78
4.4 Keterbatasan Penelitian	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran... ..	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	92

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Definisi Operasional	54
2. Karakteristik Responden Penelitian.....	65
3. Distribusi Proporsi Penekanan Radiks Saraf	66
4. Persentase Infiltrasi Lemak.....	67
5. Distribusi Proporsi Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal	68
6. Uji Korelasi Gamma	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skematik Tulang Belakang Manusia	8
2. Ruas Tulang Belakang Regio Lumbalis	9
3. Vertebra Torakal XII	10
4. Vertebra Lumbal II	11
5. Diskus Intervertebralis.....	13
6. Struktur Medula Spinalis	15
7. Saraf Spinalis	16
8. Struktur Lapisan Meninges.....	17
9. Skema Suplai Pembuluh Darah Tulang Belakang.....	18
10. Otot-otot Punggung Superfisial (Lapisan Permukaan).....	19
11. Otot-otot Punggung Lapisan Tengah.....	20
12. Otot-otot Punggung Profunda (Lapisan Dalam).....	22
13. Skema Muskulus Multifidus	23
14. Ilustrasi Hernia Nukleus Pulposus.....	24
15. Ilustrasi Derajat Keparahan Hernia Nukleus Pulposus.....	30
16. Gambaran <i>Schmorl's Node</i> pada Foto Polos	34
17. Gambaran <i>Vacuum Phenomenon</i> pada CT Scan	35
18. Gambaran MRI Hernia Nukleus Pulposus.....	36
19. Skema Hubungan Radiks Saraf Spinal dengan Vertebra.....	40
20. Derajat 0 Penekanan Radiks Saraf.....	41
21. Derajat 1 Penekanan Radiks Saraf.....	42
22. Derajat 2 Penekanan Radiks Saraf.....	42
23. Derajat 3 Penekanan Radiks Saraf.....	43
24. Muskulus Multifidus Lumbal Normal	45

25. Atrofi Ringan Muskulus Multifidus Lumbal	45
26. Atrofi Sedang Muskulus Multifidus Lumbal.....	46
27. Atrofi Berat Muskulus Multifidus Lumbal.....	46
28. Kerangka Teori	48
29. Kerangka Konsep.....	49
30. Penentuan <i>Region of Interest</i> (ROI).....	58
31. Pengukuran <i>Cross-Sectional Area</i> (CSA) Otot	58
32. Analisis Intensitas Sinyal Infiltrasi Lemak Dengan Fitur <i>Thresholding</i>	59
33. Pengukuran Luas Area Infiltrasi Lemak.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Lembar Keterangan Layak Etik oleh RSUD Dr. H. Abdul Moeloek	93
2. Lembar Izin Penelitian oleh RSUD Dr. H. Abdul Moeloek	94
3. Lembar Izin Penelitian oleh Fakultas Kedokteran Universitas Lampung	95
4. Lembar Izin Pre Survey oleh RSUD Dr. H. Abdul Moeloek	96
5. Dokumentasi Penelitian	97
6. Analisis Statistik Uji Univariat	98
7. Analisis Statistik Uji Bivariat	99

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hernia nukleus pulposus (saraf terjepit) adalah kondisi patologis yang ditandai oleh herniasi inti nukleus pulposus yaitu ketika bantalan tulang belakang yang berfungsi sebagai peredam kejut (diskus intervertebralis) mengalami sobekan di lapisan luarnya (anulus fibrosus), sehingga bagian tengahnya yang lebih lunak (nukleus pulposus) menonjol keluar. Tonjolan ini bisa menekan saluran saraf di tulang belakang (kanalis spinalis) dan menyebabkan terjepitnya saraf spinalis (De Cicco & Willhuber, 2019). Hernia nukleus pulposus dilaporkan mengenai sekitar 1–3% populasi global, dengan angka kejadian tertinggi ditemukan pada kelompok usia dewasa dengan rentang usia 30 hingga 50 tahun. Distribusi epidemiologis hernia nukleus pulposus menunjukkan dominasi pada pasien laki-laki dibandingkan perempuan, dengan rasio kejadian dua banding satu (Franco *et al.*, 2023). Mayoritas kasus, yaitu lebih dari 90%, ditemukan pada diskus intervertebralis segmen L4–L5 dan L5–S1, yang secara anatomi berpotensi menyebabkan penekanan pada akar saraf L4, L5, dan S1 (Donnally III & Dulebohn, 2017).

Menurut data Chalian *et al.* (2012), Nyeri pinggang bawah diperkirakan terjadi pada sekitar 16,5 juta kasus setiap tahun. Sebanyak kurang lebih 1,6 juta pasien mendapatkan pelayanan rawat jalan. Sekitar 100 ribu pasien menjalani perawatan inap di rumah sakit. Dari keseluruhan pasien hernia nukleus pulposus, jumlah yang menjalani tindakan operasi mencapai sekitar 24.000 orang per tahun. Persatuan Dokter Spesialis Saraf Indonesia

(PERDOSSI) sebagaimana dikutip oleh Mahfira & Utami (2021), melaporkan hasil penelitian yang dilakukan pada tahun 2002 di 14 rumah sakit pendidikan. Penelitian tersebut mencatat sebanyak 819 pasien mengalami nyeri punggung bawah, yang merepresentasikan 18,37% dari keseluruhan kunjungan pasien. Survei pendahuluan yang dilaksanakan oleh peneliti pada 25 Agustus 2025 di Instalasi Rekam Medis RSUD Dr. H. Abdul Moeloek menunjukkan adanya tren peningkatan jumlah pasien dengan diagnosis hernia nukleus pulposus dari tahun ke tahun. Jumlah kasus tercatat sebanyak 12 kasus pada tahun 2021, meningkat menjadi 32 kasus pada tahun 2022, kemudian bertambah menjadi 51 kasus pada tahun 2023, dan mencapai 65 kasus pada tahun 2024. Temuan ini menunjukkan adanya tren peningkatan kejadian hernia nukleus pulposus (Instalasi Rekam Medis RSUD Dr. H. Abdul Moeloek, 2025).

Penekanan pada akar saraf yang disebabkan oleh hernia nukleus pulposus dapat menimbulkan berbagai manifestasi klinis, baik tunggal maupun kombinasi, berupa nyeri pinggang khas yang disertai sensasi baal, kelemahan otot, dan parestesia pada tungkai atau kaki. Keluhan lain yang sering ditemukan meliputi nyeri pada tungkai, nyeri kaki, nyeri punggung bawah, serta nyeri pada daerah bokong. Gangguan kontrol berkemih (miksi) atau buang air besar (defekasi) menandakan kondisi klinis yang berat. Pada sebagian kecil kasus, herniasi diskus dapat berkembang menjadi sindrom kauda equina yang ditandai dengan kelumpuhan bilateral ekstremitas bawah dan sfingter serta gangguan sensorik yang muncul secara akut maupun subakut (Fjeld *et al.*, 2019).

Otot paraspinal adalah kelompok otot yang terletak di sepanjang sisi tulang belakang dan mempunyai fungsi utama untuk menopang postur tubuh, menjaga stabilitas tulang belakang, serta membantu pergerakan seperti ekstensi, rotasi, dan fleksi lateral punggung. Otot paraspinal dibagi menjadi tiga kelompok besar yaitu, kelompok anterior (depan), kelompok lateral (samping) serta kelompok posterior (belakang) yang terdiri dari otot-otot

superfisial (otot permukaan) , otot intermediet, serta otot-otot profunda (otot bagian dalam), termasuk kelompok otot erector spinae (muskulus iliocostalis, musculus longissimus, musculus spinalis) dan kelompok otot transversospinalis (muskulus multifidus, musculus rotatores, musculus semispinalis) (Demirel *et al.*, 2023). Gangguan fungsi dan penurunan kinerja otot ini sering ditemukan pada pasien dengan nyeri punggung bawah, terutama akibat patologi seperti herniasi diskus lumbal. Proses degeneratif yang terjadi pada otot paraspinal mencakup peningkatan infiltrasi lemak dan jaringan ikat, perubahan tipe serat otot, gangguan populasi sel, serta perubahan ekspresi genetik (Suo *et al.*, 2023).

Nyeri yang dirasakan sebagai respons terhadap kompresi atau iritasi saraf berperan dalam membatasi aktivitas gerak pada otot-otot punggung. Keterbatasan tersebut merupakan konsekuensi dari spasme otot yang muncul sebagai respons perlindungan terhadap kemungkinan cedera lanjutan. Spasme otot yang berkelanjutan dapat menurunkan fleksibilitas serta mengurangi *range of motion* (ROM) pada punggung dan tulang belakang (Nasikhatussoraya *et al.*, 2016). Kondisi ini dapat menyebabkan kelemahan dan atrofi otot paraspinal. Mekanisme patofisiologinya melibatkan dua proses utama, yaitu penurunan aktivitas otot akibat kurangnya penggunaan, serta denervasi yang diakibatkan oleh kompresi atau iritasi saraf (Tieppo *et al.*, 2023)

Denervasi adalah proses hilangnya suplai saraf ke suatu otot, yang menyebabkan gangguan fungsi dan perubahan pada struktur otot tersebut. Proses ini terjadi ketika terjadi cedera atau kompresi pada saraf sehingga sinyal saraf ke otot terganggu atau terputus. Reinervasi adalah proses pemulihan ketika serabut saraf baru tumbuh untuk menggantikan serabut yang rusak atau hilang, sehingga kembali memberikan suplai saraf pada otot yang sebelumnya mengalami denervasi. Penekanan pada akar saraf yang terjadi secara berulang dapat memicu siklus denervasi dan reinervasi, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap perubahan morfologi otot, salah

satunya berupa penurunan volume dan infiltrasi lemak, yang bisa diamati dengan pencitraan radiologis seperti *magnetic resonance imaging* (MRI). Akumulasi perubahan tersebut berkontribusi signifikan terhadap instabilitas tulang belakang dan memperparah gejala nyeri punggung bawah pada pasien (Demirel *et al.*, 2023).

Beragam teknik pencitraan radiologis dapat dimanfaatkan untuk menilai hernia nukleus pulposus, antara lain foto polos lumbal, myelografi, *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), serta elektromyografi. Magnetic resonance imaging (MRI) merupakan metode pemeriksaan baku emas dalam penegakan diagnosis hernia nukleus pulposus. Pemeriksaan ini dianggap sebagai modalitas penunjang paling optimal untuk mengidentifikasi patologi diskus intervertebralis sekaligus mengeksklusi kemungkinan kelainan patologis lainnya. Citra MRI pada potongan aksial dan sagital mampu menampilkan kelainan diskus serta hubungannya dengan radiks saraf. Keunggulan MRI juga terletak pada kemampuannya dalam menggambarkan hernia nukleus pulposus beserta hubungan anatomisnya dengan jaringan lunak sekitar secara detail (Berlina and Ichwanuddin, 2024).

Sebuah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa dari 254 pasien yang diperiksa, sebanyak 157 pasien mengalami herniasi diskus pada segmen tulang belakang L4-L5 dan 89 pasien diantaranya mengalami atrofi otot multifidus. Pada level L5-S1, sebanyak 174 pasien didiagnosis dengan herniasi diskus dan 114 pasien diantaranya mengalami atrofi otot. Sebanyak 56 pasien yang tidak memiliki herniasi diskus tetap menunjukkan atrofi otot multifidus (Demirel, 2024). Penelitian serupa pada 60 pasien nyeri punggung bawah akibat radikulopati melaporkan adanya hubungan positif yang bermakna antara derajat degenerasi diskus dan tingkat atrofi otot (Sun *et al.*, 2017). Studi lain menggunakan data MRI 26 pasien punggung bawah menunjukkan terdapat hubungan bermakna antara kejadian herniasi diskus dan kejadian atrofi musculus multifidus (Abo-Elhoda *et al.*, 2025).

Latar belakang yang telah dipaparkan mendorong dilakukannya penelitian ini guna mengevaluasi korelasi antara tingkat penekanan radiks saraf dan derajat atrofi muskulus multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus dengan menggunakan pemeriksaan MRI (magnetic resonance imaging) lumbosakral di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek selama periode 2023–2025. Hernia nukleus pulposus sering menyebabkan kompresi saraf yang berpotensi menimbulkan atrofi pada muskulus multifidus, otot yang memiliki peran esensial dalam endukung dan menjaga kestabilan struktur tulang belakang lumbal.

Mengingat peran krusial muskulus multifidus dalam fungsi motorik dan pencegahan nyeri punggung bawah kronis, Penelitian ini diharapkan mampu memperluas pemahaman mengenai korelasi antara kedua variabel yang diteliti. Temuan penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi landasan dalam perumusan strategi penatalaksanaan yang lebih efektif bagi pasien hernia nukleus pulposus di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

Apakah terdapat korelasi antara derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi muskulus multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus berdasarkan gambaran MRI lumbosakral di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mengetahui korelasi antara derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi muskulus

multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus (HNP) di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Mengetahui gambaran derajat penekanan radiks saraf pada penderita hernia nukleus pulposus (HNP) di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025.
2. Mengetahui gambaran derajat atrofi musculus multifidus lumbal pada penderita hernia nukleus pulposus (HNP) di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025.
3. Menganalisis korelasi derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi musculus multifidus lumbal pada penderita hernia nukleus pulposus (HNP) di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Bagi Peneliti

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan dan wawasan peneliti terkait kaidah penulisan karya ilmiah yang baik dan benar, serta memperdalam pemahaman mengenai korelasi antara derajat penekanan radiks saraf dan derajat atrofi musculus multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus (HNP) di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025. Penelitian ini juga bermanfaat untuk mengimplementasikan pengetahuan yang diperoleh dari materi perkuliahan ke dalam praktik penelitian.

1.4.2 Manfaat Bagi Objek Penelitian

Data yang dihasilkan dari penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai sejauh mana korelasi antara derajat penekanan radiks saraf

dengan derajat atrofi muskulus multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus (HNP) di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025. Temuan penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai landasan dalam perumusan strategi penatalaksanaan yang lebih optimal bagi pasien HNP di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek.

1.4.3 Manfaat Bagi Institusi

Hasil penelitian ini diharapkan berperan dalam memperluas referensi ilmiah dan menjadi masukan yang konstruktif bagi pengembangan mutu serta kualitas pendidikan kedokteran di Universitas Lampung dan universitas lain di Indonesia.

1.4.4 Manfaat Bagi Masyarakat

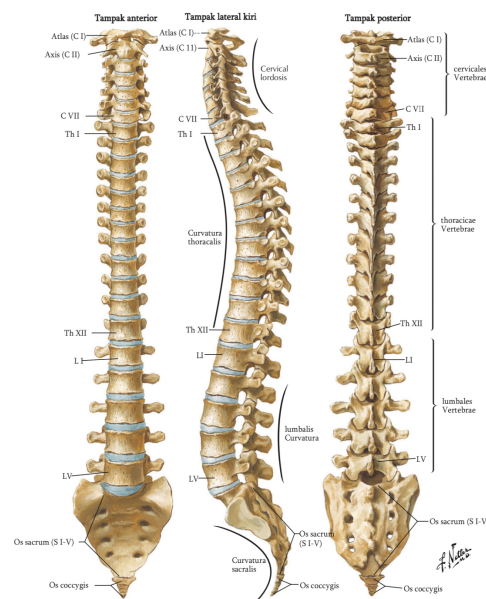
Penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai keterkaitan antara derajat penekanan radik saraf dan tingkat atrofi muskulus multifidus lumbal pasien hernia nukleus pulposus (HNP), sehingga kesadaran terhadap pentingnya deteksi dini serta penatalaksanaan yang adekuat dapat ditingkatkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anatomi Tulang Belakang

Tulang belakang atau columna vertebralis merupakan sumbu sentral dari kerangka tubuh. Pada bagian atas (superior), columna vertebralis berartikulasi dengan tengkorak, sedangkan pada bagian bawah (inferior) berartikulasi dengan kedua tulang panggul yang selanjutnya berhubungan dengan tungkai bawah. Columna vertebralis terdiri atas lima regio mencakup 33 ruas tulang belakang yang tersusun secara sefalokaudal, yaitu segmen servikal (7 ruas), torakal (12 ruas), lumbal (5 ruas), serta segmen sakrokoksigeal yang merupakan gabungan 9 ruas tulang (Mahadevan, 2018).

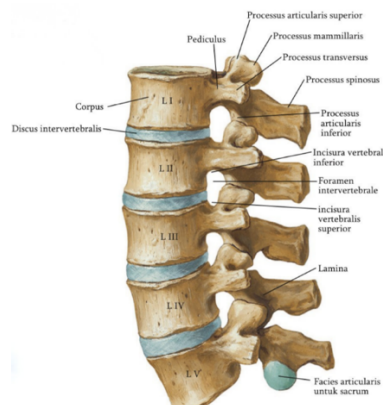


Gambar 1. Skematik Tulang Belakang Manusia (Netter, 2019)

Tulang belakang memiliki tiga fungsi utama, yaitu menopang tubuh, melindungi medula spinalis beserta akar saraf spinal, serta memungkinkan pergerakan trunkus (Mahadevan, 2018). Selain struktur tulang belakang, terdapat jaringan ligamen yang berperan mempertahankan kestabilan antarvertebra dan menjadi tempat perlekatan otot punggung yang mendukung pergerakan tubuh. Ligamen dan otot vertebra bekerja secara sinergis dalam mengatur koordinasi gerakan tubuh (Bogduk, 2016).

2.1.1 Ruas Tulang Belakang

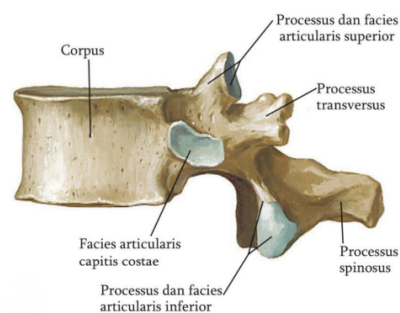
Tulang belakang terdiri atas 33 tulang-tulang (vertebra) yang mengelilingi serta melindungi sumsum tulang belakang (medula spinalis). Vertebra berfungsi memungkinkan pergerakan tulang belakang sekaligus memberikan perlindungan terhadap medula spinalis. Untuk memungkinkan pergerakan dan stabilitas, vertebra saling berhubungan melalui sendi di kedua sisinya dan masing-masing vertebra dipisahkan oleh diskus intervertebralis (Liebenberg, 2020). Setiap segmen vertebra memiliki variasi ukuran dan morfologi, namun seluruhnya menunjukkan kesamaan dalam susunan struktur dasarnya. Vertebra secara umum tersusun atas korpus, pedikel, lamina, prosesus transversus, prosesus spinosus, serta prosesus articularis superior dan inferior (Siburian, 2018).



Gambar 2. Ruas Tulang Belakang Regio Lumbalis (Netter, 2019)

2.1.1.1 Korpus vertebra

Badan vertebra atau korpus vertebra terletak pada bagian anterior vertebra dan berfungsi sebagai penopang utama berat tubuh. Setiap korpus vertebra memiliki desain struktural yang memungkinkan kekuatan maksimum dengan massa tulang yang minimal, sekaligus menahan beban tambahan akibat aktivitas kontraksi otot aksial dan otot-otot pangkal ekstremitas (proksimal ekstremitas). Ukuran korpus vertebra meningkat dari arah superior (atas) ke inferior (bawah). Korpus vertebra tersusun atas tulang trabekular yang mengandung sumsum merah dan diselubungi oleh lapisan tipis tulang kompak di bagian luar (Malik, 2023). Korpus vertebra saling terhubung melalui diskus intervertebralis dan apabila digabungkan dengan diskus tersebut, membentuk pilar penopang yang memiliki fleksibilitas dan berperan dalam menopang beban badan beserta kepala (Waxenbaum *et al.*, 2023).

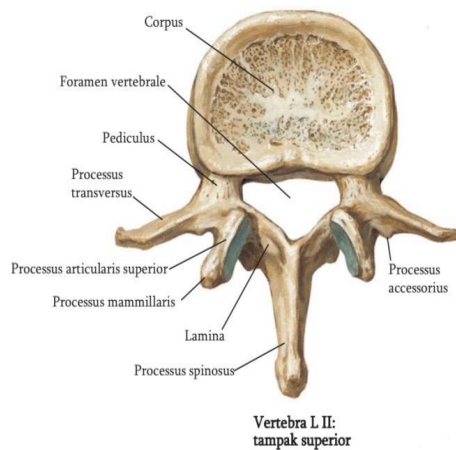


Gambar 3. Vertebra Torakal XII (Netter, 2019)

2.1.1.2 Arkus vertebra

Arkus vertebra atau bagian posterior (belakang) dari tulang belakang bersama dengan sisi posterior korpus, membentuk

kanalis vertebralis yang berisi medula spinalis. Arkus vertebra terdiri atas sejumlah struktur khas, yaitu pedikulus, lamina, dua prosesus artikular superior, dua prosesus artikular inferior, dua prosesus transversus, serta satu prosesus spinosus. Tonjolan-tonjolan yang disebut prosesus ini berfungsi sebagai bidang sendi dengan vertebra yang berdekatan, tempat perlekatan otot (Waxenbaum *et al.*, 2025).



Gambar 4. Vertebra Lumbal II (Netter, 2019)

2.1.2 Diskus Intervertebralis

Diskus intervertebralis atau cakram antarruas tulang belakang memiliki desain yang sangat efektif untuk menahan beban kompresi. Secara anatomi, diskus intervertebralis berbentuk menyerupai silinder dan tersusun atas jaringan fibrokartilago. Struktur ini merupakan komponen artikulasi yang menghubungkan korpus vertebra satu dengan lainnya, sekaligus memungkinkan pergerakan pada bagian anterior kolumna vertebralis yang umumnya kaku. Diskus intervertebralis mberperan penting dalam mentransfer beban serta menyerap dan mendistribusikan energi mekanik (Malik, 2023).

Diskus intervertebralis tersusun atas tiga komponen utama, yaitu:

A. Nukleus Pulposus

Nukleus pulposus atau inti pulposus merupakan bagian tengah dari diskus intervertebralis dan berasal dari notokorda, yaitu struktur embrional yang berperan dalam pembentukan tulang belakang. Nukleus pulposus mengandung banyak proteoglikan, yaitu molekul besar yang berfungsi mengikat air, sehingga membuat jaringan ini lentur (Malik, 2023). Nukleus pulposus tersusun dari serat kolagen tipe II yang memiliki pola orientasi tidak teratur, agregat agregkan yang berikatan dengan kondroitin dan keratan sulfat (komponen penting jaringan tulang rawan), serta serat elastis yang tersusun radial menyerupai lingkaran. Kombinasi struktur tersebut membuat diskus intervertebralis mampu bekerja sebagai peredam guncangan (*shock absorber*) dan menahan beban mekanis yang besar saat tubuh berdiri, bergerak, atau mengangkat beban (Michael *et al.*, 2021).

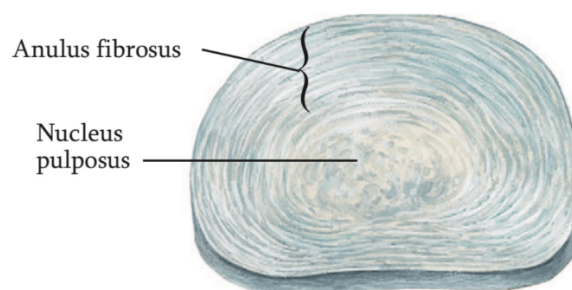
B. Anulus Fibrosus

Anulus fibrosus atau cincin fibrosa merupakan lapisan jaringan ikat yang menyelubungi bagian sentral bantalan antarruas tulang belakang (diskus intervertebralis), yaitu nukleus pulposus. Tidak terdapat batasan morfologis yang tegas antara anulus fibrosus dan nukleus pulposus (Priyadarshani *et al.*, 2016). Lapisan ini tersusun oleh serabut kolagen tipe I, suatu protein struktural yang memberikan kekuatan dan kekakuan jaringan. Serabut kolagen tersebut terorganisasi secara konsentris dalam 15–25 lamela dengan arah bersilangan membentuk sudut sekitar 30°. Pola susunan ini menjadikan anulus fibrosus memiliki ketahanan mekanis yang tinggi dalam menahan tekanan serta mempertahankan posisi nukleus pulposus agar tidak mengalami pergeseran keluar (Frapin *et al.*, 2019).

Anulus fibrosus berperan sebagai penghalang pelindung yang membatasi pergerakan nukleus pulposus sekaligus melindunginya dari respons sistem imun. Bagian perifer (tepi) anulus fibrosus dipersarafi oleh nosiseptor (reseptor nyeri) dan proprioseptor (reseptor posisi), sehingga kerusakan atau robekan pada area ini dapat menimbulkan persepsi nyeri. Suplai pembuluh darah (vaskularisasi) hanya ditemukan pada lapisan luar anulus fibrosus, sedangkan bagian dalam memperoleh suplai nutrisi melalui proses difusi (Amelot & Mazel, 2018)

C. Vertebral *end plate*

Diskus intervertebralis juga memiliki komponen tambahan berupa dua lapisan tulang rawan yang berada pada permukaan superior dan inferior setiap diskus, yang disebut sebagai *endplate* vertebra. Struktur *endplate* ini sepenuhnya menutupi nukleus pulposus, namun pada bagian perifer tidak seluruhnya melapisi anulus fibrosus. *Endplate* berfungsi sebagai membran semipermeabel yang memungkinkan proses difusi nutrisi dan metabolit dari kapiler darah dalam korpus vertebra ke jaringan diskus, serta berperan dalam eliminasi produk sisa metabolisme dari diskus. *Endplate* juga berperan menjaga agar molekul besar, seperti proteoglikan yang sangat penting bagi struktur dan fungsi diskus, tidak bocor keluar dari anulus fibrosus maupun nukleus pulposus (Malik, 2023).



Gambar 5. Diskus Intervertebralis (Netter, 2019)

2.1.3 Kanalis Vertebralis

Kanalis vertebralis atau saluran tulang belakang terbentuk dari foramen vertebra yang terdapat pada vertebra bagian servikal, torakal, dan lumbal. Foramen vertebra ini dibentuk oleh bagian posterior korpus vertebra, pedikulus, lamina di kedua sisi, serta pertemuan lamina pada prosesus transversus (Longatti *et al.*, 2022). Fungsi utama kanalis vertebralis adalah menyediakan ruang yang terbuka sekaligus terlindungi bagi medula spinalis, sehingga memungkinkan struktur ini melintas dari kranium hingga ke sakrum (Sarrami *et al.*, 2017).

Terdapat dua ligamen penting di sekeliling kanalis vertebralis, yaitu ligamen flavum dan ligamen longitudinal posterior. Ligamen flavum membentang sepanjang kolumna vertebralis dan berfungsi menghubungkan lamina dari tiap vertebra. Ligamen longitudinal posterior terletak di bagian belakang korpus vertebra sekaligus menjadi batas anterior kanalis vertebralis (DeSai *et al.*, 2025). Terdapat pula ligamen longitudinal anterior yang berfungsi menghubungkan korpus vertebra serta mencegah terjadinya pergeseran vertebra ke arah anterior (depan).

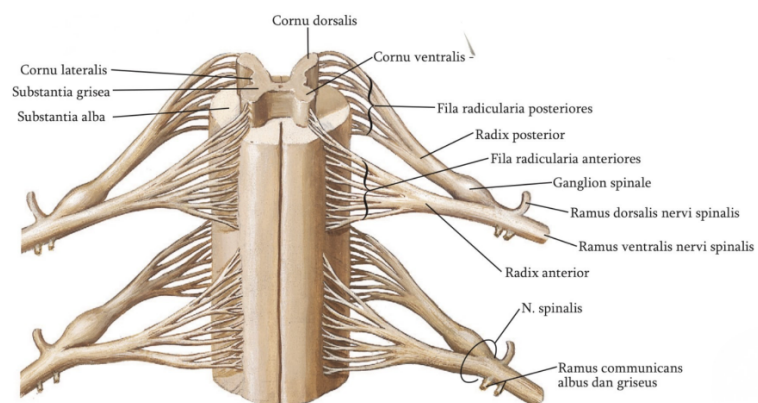
Terdapat beberapa struktur penting yang mengisi kanalis vertebralis, yaitu:

A. Medula Spinalis

Medula spinalis atau sumsum tulang belakang merupakan komponen esensial dari sistem saraf pusat. Struktur ini terletak di dalam kolumna vertebralis dan memanjang dari batang otak hingga regio lumbal bawah melalui foramen vertebra. Medula spinalis membentuk 31 pasang saraf spinal yang berperan dalam inervasi batang tubuh serta ekstremitas. Pada individu dewasa ujung distal medula spinalis berakhir pada tingkat vertebra

lumbal L1–L2, yang disebut sebagai konus medularis. Pada bagian bawah konus medularis terdapat saluran tulang belakang berisi kumpulan akar saraf mirip ekor kuda yang disebut kauda equina (Ganapathy *et al.*, 2025).

Medula spinalis berfungsi sebagai jalur penghubung antara otak dan seluruh tubuh, dengan menghantarkan perintah motorik dari korteks motorik menuju otot, serta menyampaikan informasi sensorik dari serabut aferen ke korteks sensorik. Dalam kondisi tertentu, medula spinalis dapat bekerja tanpa sinyal dari otak karena mampu secara mandiri mengoordinasikan refleks melalui lengkung refleks. Lengkung refleks memungkinkan tubuh merespons rangsangan sensorik tanpa menunggu masukan dari otak. Lengkung refleks dimulai dari sinyal reseptor sensorik yang diteruskan ke medula spinalis melalui serabut saraf sensorik, kemudian bersinaps pada interneuron, dilanjutkan ke neuron motorik, dan akhirnya menstimulasi otot atau organ efektor (Minassian *et al.*, 2017).

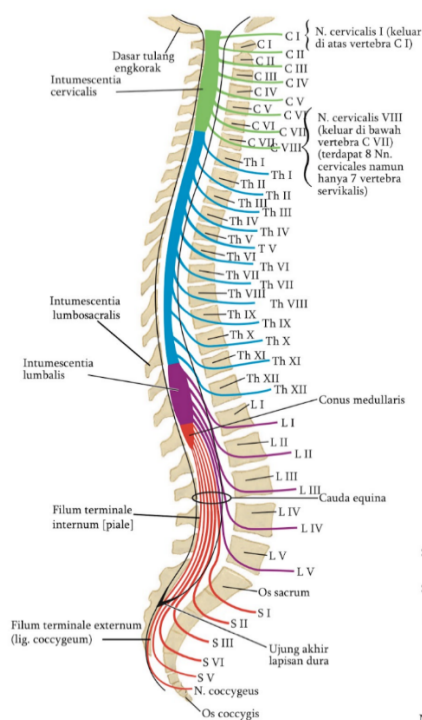


Gambar 6. Struktur Medula Spinalis (Netter, 2019)

B. Saraf Spinalis

Saraf spinalis atau saraf tulang belakang adalah pasangan saraf yang keluar dari medula spinalis melalui foramen

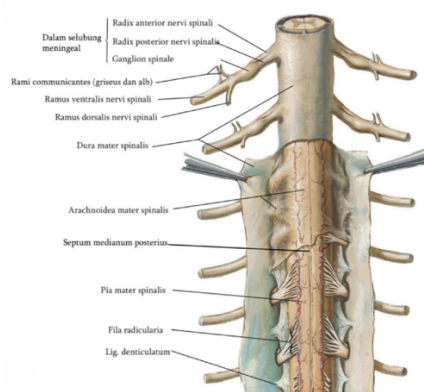
intervertebralis (ruang antarvertebra) dan berfungsi menghubungkan sistem saraf pusat dengan seluruh bagian tubuh (Ganapathy *et al.*, 2025). Sebanyak 31 pasang saraf spinalis terdapat pada manusia, dengan susunan yang terdiri atas akar anterior dan akar posterior pada setiap saraf, yang juga dikenal sebagai akar ventral dan dorsal. Akar anterior atau ventral berfungsi menghantarkan impuls motorik melalui serabut eferen menuju otot rangka. Akar posterior atau dorsal berfungsi menghantarkan impuls sensorik melalui serabut aferen dari reseptor perifer pada kulit, tulang, sendi, otot, maupun organ dalam. Akar dorsal masuk ke medula spinalis melalui sulkus (alur) posterolateral, sedangkan akar ventral masuk melalui sulkus anterolateral. Pada akar dorsal terdapat penebalan yang disebut ganglion akar dorsal (ganglion spinal) yang mengandung badan sel neuron sensorik pseudounipolar (Frostell *et al.*, 2016).



Gambar 7. Saraf Spinalis (Netter, 2019)

C. Meninges

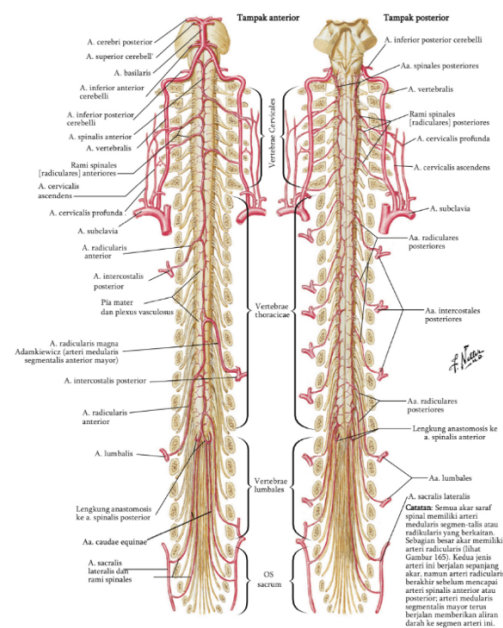
Meninges merupakan selaput pelindung otak dan sumsum tulang belakang. Tiga lapisan meninges melapisi kanalis vertebralis secara berurutan dari bagian eksternal hingga internal. Dura mater membentuk lapisan paling luar dan tersusun atas jaringan berserat yang tebal. Berikutnya adalah arachnoid mater, lalu pia mater yang paling dalam (Bhat *et al.*, 2016). Ruang antara dura mater dengan dinding kanalis vertebralis disebut ruang ekstradural atau epidural. Ruang subdural menempati area pemisah antara dura mater dan arachnoid mater. Ruang subarachnoid berada pada ruang antara arachnoid mater dan pia mater dan berisi cairan serebrospinal. Pia mater berikatan langsung dengan sumsum tulang belakang dan memanjang mengikuti struktur tersebut sampai tingkat vertebra lumbal L1, tempat sumsum tulang belakang berakhir. Dura mater dan arachnoid mater memanjang hingga vertebra sakral kedua. Di antara vertebra L1-S2, ruang subarachnoid mengandung akar saraf yang membentuk cauda equina (kumpulan serabut saraf spinalis mirip ekor kuda). Pia mater juga memanjang melewati L1 sebagai struktur tipis di garis tengah yang disebut filum terminale dan melekat pada permukaan posterior kokiks (Bhat *et al.*, 2016).



Gambar 8. Struktur Lapisan Meninges (Netter, 2019)

D. Suplai Pembuluh Darah

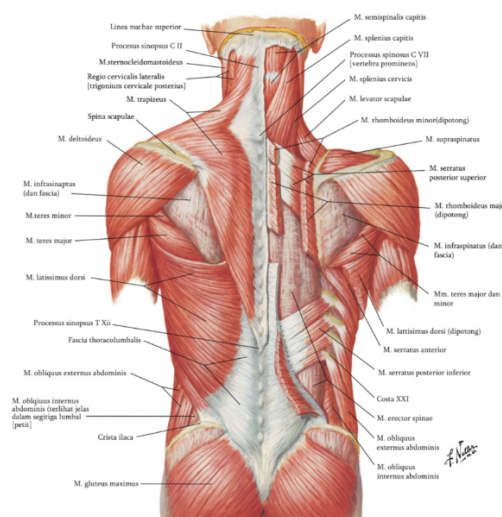
Suplai vaskular ke sumsum tulang belakang berasal dari tiga pembuluh longitudinal yang memanjang sepanjang medula spinalis, terdiri atas satu arteri spinalis anterior dan dua arteri spinalis posterior. Arteri spinalis anterior mengikuti jalur fisura medianus anterior, sementara sepasang arteri spinalis posterior yang berdiameter lebih kecil berjalan melalui sulkus posterolateral pada sisi kanan dan kiri. Sumber utama percabangan arteri spinalis ini adalah arteri vertebralis, yang hanya memasok darah pada segmen servikal sumsum tulang belakang. Pada bagian bawah, suplai darah sumsum tulang belakang diperoleh melalui arteri radikular yang memasuki medula spinalis bersamaan dengan akar saraf spinal. Arteri radikular sendiri merupakan cabang dari berbagai arteri, antara lain arteri vertebralis, arteri servikal, interkostalis, lumbal, dan sakral (Gofur & Singh, 2023).



Gambar 9. Skema Suplai Pembuluh Darah Tulang Belakang (Netter, 1919)

2.1.4 Otot Tulang Belakang

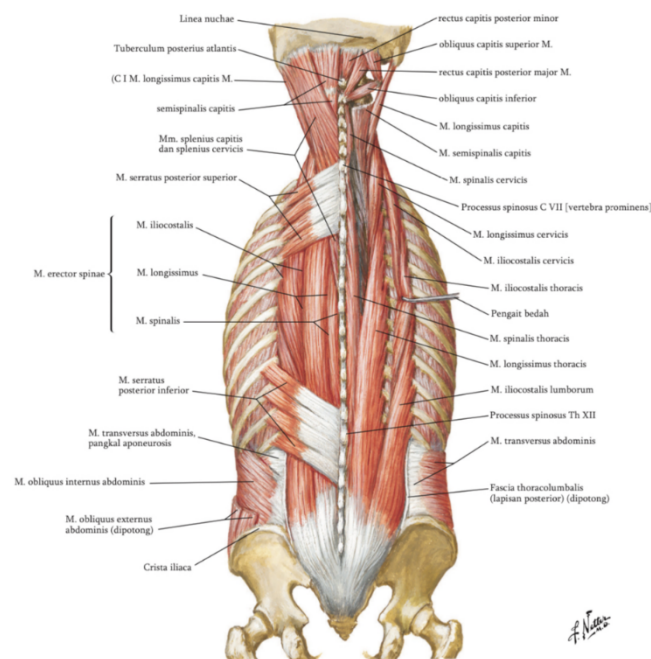
Otot (jamak: muskuli, tunggal: musculus) yang menempel pada kolumna vertebralis berperan dalam menjaga keseimbangan sikap tubuh serta pengaturan pembebanan mekanik secara proporsional. Kelompok otot ini diklasifikasikan menjadi otot punggung bagian luar dan bagian dalam (Mahadevan, 2018). Kelompok punggung bagian luar selanjutnya terbagi menjadi lapisan superfisial yang mencakup musculus trapezius, latissimus dorsi, levator scapulae, serta rhomboideus mayor dan minor, serta lapisan intermediet yang terdiri atas musculus serratus posterior superior dan inferior. Lapisan superfisial berkontribusi terhadap mobilitas ekstremitas atas, termasuk skapula dan humerus, sedangkan lapisan intermediet berperan dalam mekanisme elevasi dan depresi iga yang berkaitan dengan fungsi respirasi (DeSai *et al.*, 2025).



Gambar 10. Otot-otot Punggung Superfisial (Lapisan Permukaan)
(Netter, 2019)

Otot-otot punggung intrinsik dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu superfisial, intermediet, dan profunda, yang berfungsi membantu pergerakan tulang belakang serta mempertahankan postur tubuh

(Mahadevan, 2018). Lapisan superfisial terdiri dari musculus splenius capitis dan musculus splenius cervicis, yang berperan dalam fleksi, rotasi, dan ekstensi leher. Lapisan intermediat sebagian besar terdiri dari otot-otot paraspinal atau erector spinae, yaitu musculus iliocostalis, musculus longissimus, dan musculus spinalis, yang penting untuk memperpanjang tulang belakang serta mempertahankan lengkung sentralnya. Lapisan profunda mencakup otot-otot yang terletak di antara prosesus transversus dan spinosus vertebra, yang sering disebut musculus paravertebral, dan dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok paling superfisial adalah musculus semispinalis, yang menonjol di daerah toraks dan serviks. Di bagian lebih dalam terdapat musculus multifidus, yang paling menonjol di daerah lumbar. Kelompok terdalam adalah musculus rotatores, yang paling jelas terlihat di daerah toraks (DeSai *et al.*, 2025).



Gambar 11. Otot-otot Punggung Lapisan Tengah (Netter, 2019)

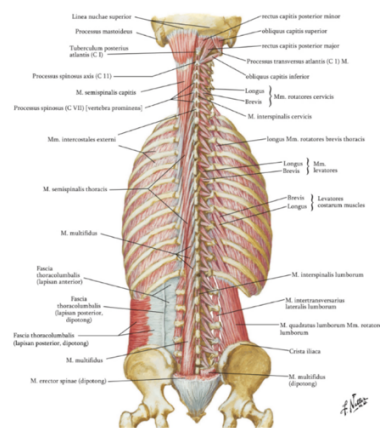
2.1.4.1 Otot Paraspinal

Otot paraspinal adalah kelompok otot yang terletak di sepanjang sisi tulang belakang dan berperan penting dalam menstabilkan, menggerakkan, dan mempertahankan postur tulang belakang. Tulang belakang leher memiliki rentang gerak yang sangat luas dan otot paraspinal leher berperan dalam berbagai gerakan seperti fleksi, ekstensi, fleksi lateral, dan rotasi, sehingga menjaga fleksibilitas serta koordinasi gerakan leher. Otot paraspinal di tulang belakang toraks dan lumbar bekerja sama untuk menjaga keseimbangan tubuh dan menstabilkan tulang belakang. Peningkatan aktivitas otot memainkan peran penting dalam menstabilkan segmen gerak intervertebralis selama membungkuk dan gerakan tulang belakang lainnya. Otot-otot juga berpartisipasi aktif dalam gerakan seperti fleksi, ekstensi, fleksi lateral, dan rotasi (Creze *et al.*, 2023).

Anatomi otot paraspinal dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu: (Suo *et al.*, 2023).

- A. Kelompok anterior (depan) terletak di bagian depan tulang belakang leher dan meliputi musculus longus colli, musculus longus capitis, musculus rectus capitis anterior, serta musculus rectus capitis lateralis.
- B. Kelompok lateral (samping) mencakup otot skalenus anterior, medius, dan posterior di leher, serta musculus quadratus lumborum, musculus psoas major, dan musculus psoas minor di daerah perut.
- C. Kelompok posterior (belakang) terdiri dari otot-otot superfisial (muskulus trapezius, musculus latissimus dorsi, musculus levator scapulae, dan musculus Rhomboideus), otot intermediet (muskulus serratus

posterior superior dan musculus serratus posterior inferior), serta otot-otot profunda, termasuk kelompok otot erector spinae (muskulus iliocostalis, musculus longissimus, musculus spinalis) dan kelompok otot transversospinalis (muskulus multifidus, musculus rotatores, musculus semispinalis), muskuli interspinales, muskuli intertransversarii, dan muskuli levatores costarum.



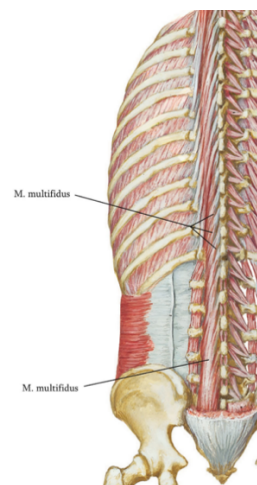
Gambar 12. Otot-otot Punggung Profunda (Lapisan Dalam)
(Netter, 2019)

2.1.4.2 Otot Multifidus Lumbal

Muskulus multifidus adalah otot yang terletak di sepanjang tulang belakang, di antara prosesus spinosus dan transversus vertebra, dan termasuk bagian dari lapisan profunda (dalam) kelompok otot punggung bagian dalam (intrinsik). Otot ini merupakan yang paling dekat dengan tulang belakang dan memiliki area perlekatan terbesar dibandingkan otot paraspinal lainnya. Pada regio lumbal, musculus multifidus diselimuti lapisan fascia torakolumbal, khususnya lapisan superfisial dan medial. Struktur di sekitarnya meliputi musculus longissimus di sisi lateral serta prosesus spinosus dan lamina di sisi medial dan anterior (Wang *et al.*, 2021).

Muskulus multifidus ini berasal (origo) dari beberapa struktur, yaitu permukaan belakang (fasies dorsalis) tulang sakrum, ligamen sakroiliaka posterior, bagian belakang krista iliaka, prosesus mamilaris pada tulang belakang lumbal, prosesus transversus pada tulang belakang torakal, serta prosesus artikularis inferior dari tulang belakang servikal ke-7 hingga ke-4. Adapun titik perlekatannya (insersio) terdapat pada tonjolan belakang tulang belakang (prosesus spinosus), mulai dari lumbal ke-5 hingga ke-1, torakal ke-12 hingga ke-1, serta servikal ke-7 hingga ke-2. Muskulus ini mendapatkan suplai saraf (inervasi) dari rami posterior saraf spinal (Waschke & Paulsen, 2018).

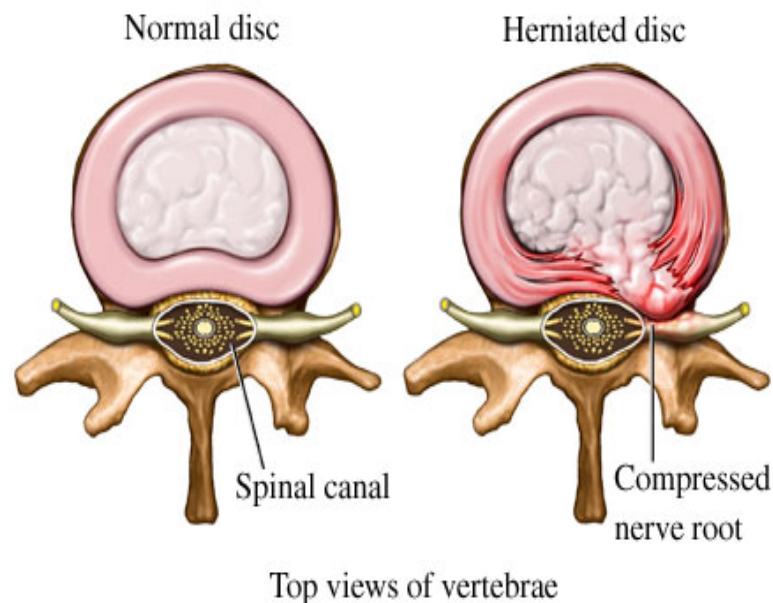
Fungsi utama muskulus multifidus adalah menjaga membantu gerakan tulang belakang. Secara unilateral (satu sisi), muskulus ini berperan dalam melakukan gerakan laterofleksi segmental (membengkokkan tubuh ke samping) dan rotasi. Secara bilateral (kedua sisi bekerja bersama), muskulus ini membantu ekstensi segmental (meluruskan atau menegakkan tulang belakang). Multifidus juga berfungsi penting dalam menstabilkan kolumna vertebralis (tulang belakang) sehingga postur tubuh tetap terjaga (Waschke & Paulsen, 2018).



Gambar 13. Skema Muskulus Multifidus (Netter, 2019)

2.2 Hernia Nukleus Pulposus

Gangguan integritas diskus intervertebralis pada regio lumbal dapat menimbulkan nyeri pinggang bawah melalui mekanisme inflamasi dan kompresi saraf. Salah satu kondisi yang paling sering ditemukan adalah hernia nukleus pulposus, yang juga disebut sebagai herniasi diskus lumbal dan dikenal dalam praktik klinis sebagai lumbar disc syndrome atau lumbosacral radiculopathies. Literatur medis menggunakan beragam terminologi untuk menjelaskan kondisi ini, termasuk bulging disc, protruding disc, extruded disc, sequestered disc, ruptured disc, prolapsed disc, soft disc, herniated disc, dan slipped disc. Kondisi tersebut terjadi akibat robekan anulus fibrosus yang memungkinkan nukleus pulposus keluar dari diskus intervertebralis dan memberikan tekanan pada akar saraf atau sumsum tulang belakang, sehingga muncul manifestasi radikulopati maupun mielopati (Fitriyani & Putri, 2024).



Gambar 14. Ilustrasi Hernia Nukleus Pulposus (Netter, 2019)

2.2.1 Epidemiologi dan Prevalensi

Hernia nukleus pulposus sering menyebabkan nyeri pinggang bawah pada populasi dewasa. Kondisi ini paling banyak terjadi pada kelompok usia produktif, khususnya usia 25–55 tahun, dengan keterlibatan segmen L4–L5 dan L5–S1 pada sekitar 95% kasus. Angka kejadian hernia nukleus pulposus mencapai sekitar 5–20 kasus per 1.000 orang dewasa setiap tahun, sedangkan prevalensi gejala herniasi diskus lumbalis berada pada kisaran 1–3% pasien. Penyakit diskus hanya mendasari kurang dari 5% kasus nyeri punggung secara keseluruhan (Fjeld *et al.*, 2019). Penelitian lain melaporkan usia rata-rata pasien hernia nukleus pulposus sebesar 41 tahun dengan proporsi kejadian yang lebih tinggi pada laki-laki sebesar 57% dibandingkan perempuan sebesar 43%. Faktor risiko tambahan meliputi indeks massa tubuh yang meningkat, di mana individu dengan BMI 25–30 maupun lebih dari 30 memiliki risiko lebih tinggi dibandingkan individu dengan BMI kurang dari 25. Aktivitas pekerjaan yang melibatkan gerakan membungkuk dan pengangkatan beban secara berulang juga meningkatkan kejadian hernia nukleus pulposus (Berlina & Ichwanuddin, 2024).

Kasus hernia nukleus pulposus di negara berkembang diperkirakan mencakup 15–20% dari populasi saat ini (Franco *et al.*, 2023). Penelitian oleh Mahfira and Utami (2021) mengutip Persatuan Dokter Spesialis Saraf Indonesia (PERDOSSI) pada tahun 2002 di 14 rumah sakit pendidikan mencatat sebanyak 819 kasus nyeri punggung bawah, yang merepresentasikan 18,37% dari keseluruhan kunjungan pasien. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (2018) melaporkan bahwa data prevalensi hernia nukleus pulposus di Indonesia hingga saat ini belum tersedia secara jelas.

2.2.2 Etiologi dan Faktor Risiko

Perubahan biomekanik diskus intervertebralis berperan penting dalam terjadinya hernia nukleus pulposus. Penurunan kemampuan diskus dalam mempertahankan tekanan internal meningkatkan risiko kerusakan anulus fibrosus. Proses penuaan menyebabkan sel fibrokondrosit diskus mengalami penurunan fungsi, yang berdampak pada berkurangnya produksi proteoglikan serta penurunan hidrasi diskus. Kondisi tersebut mengakibatkan kolaps diskus dan peningkatan tegangan pada anulus fibrosus, sehingga terbentuk robekan dan fisura yang memfasilitasi keluarnya nukleus pulposus. Paparan beban aksial berlebihan, bahkan pada diskus yang sebelumnya tidak mengalami degenerasi bermakna, juga dapat mendorong terjadinya ekstrusi diskus dan menimbulkan manifestasi klinis akut (Fitriyani & Putri, 2024).

Terdapat beberapa faktor risiko hernia nukleus pulposus, yaitu:

A. Usia

Proses penuaan menyebabkan perubahan degeneratif pada diskus intervertebralis yang menurunkan ketahanan jaringan terhadap stres mekanik (Hatlah *et al.*, 2021). Penurunan elastisitas anulus fibrosus akibat perubahan tersebut meningkatkan kemungkinan terjadinya robekan struktural. Insiden hernia nukleus pulposus mencapai puncaknya pada rentang usia 30 hingga 50 tahun (Hincapié *et al.*, 2025).

B. Jenis kelamin

Jenis kelamin berperan sebagai salah satu faktor epidemiologis dalam kejadian hernia nukleus pulposus. Angka prevalensi menunjukkan kejadian yang lebih tinggi pada laki-laki sebesar sekitar 57% dibandingkan perempuan sebesar 43%. Kelompok

usia dengan onset terbanyak berada pada rentang 46 hingga 55 tahun (Hatlah *et al.*, 2021).

C. Pekerjaan dan postur tubuh

Kerusakan pada anulus fibrosus dapat disebabkan oleh trauma yang berkaitan dengan kebiasaan atau aktivitas pekerjaan yang dilakukan secara berulang, seperti mengangkat beban berat dengan posisi membungkuk, melakukan gerakan memutar, atau kombinasi keduanya. Aktivitas seperti mendorong dengan kuat sambil membungkuk juga dapat memberikan tekanan yang mengarahkan nukleus pulposus ke arah posterior atau posterolateral, sehingga memicu robekan pada annulus fibrosus. Paparan tekanan mekanis berpotensi menimbulkan kerusakan struktural dan regangan pada saraf serta menghambat mikrosirkulasi lokal dan berujung pada kondisi iskemik dan manifestasi klinis berupa gejala radikuler (Hatlah *et al.*, 2021)

D. Indeks Massa Tubuh

Tingginya indeks massa tubuh (IMT) diketahui berkontribusi terhadap risiko terjadinya hernia nukleus pulposus. Kondisi IMT berlebih berpotensi mengubah struktur korpus vertebra dan menyebabkan beban aksial yang lebih besar pada diskus intervertebralis. (Desyauri *et al.*, 2021). Indeks massa tubuh adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap derajat protusio pada pasien hernia nukleus pulposus (Bathari, 2024). Peningkatan IMT dapat berkontribusi terhadap timbulnya hernia nukleus pulposus karena menambah beban mekanis pada tulang belakang dan meningkatkan tekanan pada diskus intervertebralis, khususnya di daerah lumbal. Tekanan berlebih ini dapat memicu terjadinya herniasi diskus. Indeks massa tubuh yang meningkat dapat menimbulkan tekanan berulang pada struktur tulang belakang,

yang selanjutnya berdampak pada penurunan stabilitasnya. Kondisi instabilitas ini membuat tulang belakang lebih mudah mengalami gangguan struktural, terutama pada segmen vertebra lumbalis (Wairisal, 2021).

2.2.3 Patofisiologi

Penonjolan materi diskus akibat hernia nukleus pulposus dapat menimbulkan reduksi ruang saccus duralis. Hal ini dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, yaitu penonjolan diskus tanpa robekan anulus fibrosus, ekstrusi nukleus pulposus melalui robekan anulus fibrosus tetapi masih terhubung dengan ruang diskus, atau lepasnya fragmen nukleus pulposus secara total yang dikenal sebagai sekuestrasi. Beberapa perubahan biologis pada diskus turut berperan dalam proses hernia nukleus pulposus. Perubahan tersebut meliputi berkurangnya kemampuan nukleus pulposus dalam mempertahankan kandungan air, meningkatnya proporsi kolagen tipe I pada nukleus pulposus serta bagian dalam anulus fibrosus, terjadinya degradasi jaringan kolagen dan matriks ekstraseluler (ECM), serta meningkatnya aktivitas proses degradasi jaringan melalui mekanisme apoptosis, peningkatan ekspresi enzim matriks metalloproteinase (MMP), dan aktivasi jalur inflamasi (Amin *et al.*, 2017).

Perubahan degeneratif pada tulang belakang berlangsung melalui proses progresif dan dinamis yang dikenal sebagai *degenerative cascade*, yang terbagi menjadi tiga tahap utama: disfungsi, instabilitas, dan stabilisasi. Pada tahap disfungsi, terjadi robekan pada anulus fibrosus yang mengganggu suplai nutrisi ke diskus intervertebralis. Robekan ini dapat meluas, meningkatkan risiko terjadinya protrusi diskus, serta menyebabkan penurunan volume dan tinggi diskus. Tahap instabilitas ditandai dengan kerusakan diskus yang lebih lanjut, peningkatan jumlah robekan pada anulus, serta

degenerasi pada sendi faset, yang pada akhirnya dapat memicu subluksasi dan ketidakstabilan segmen spinal. Pada tahap stabilisasi, ruang antar diskus semakin menyempit, disertai terbentuknya fibrosis, osteofit, dan hipertrofi faset. Perubahan ini dapat menonjol ke arah kanalis intervertebralis maupun kanalis sentralis, sehingga berpotensi menimbulkan kompresi pada struktur neurologis (Rubin, 2016).

2.2.4 Lokasi Hernia Nukleus Pulposus

Hernia nukleus pulposus dibedakan menjadi 3 tipe berdasarkan lokasi tulang belakangnya:

A. Hernia nukleus pulposus servikal

Level diskus intervertebralis yang paling sering mengalami lesi adalah segmen C5–C6, diikuti oleh segmen C4–C5 dan C6–C7. Herniasi diskus servikal terjadi ketika nukleus pulposus mengalami penonjolan atau ekstrusi melalui anulus fibrosus. Perubahan struktural ini dapat mengakibatkan radikulopati servikal akibat kompresi radiks saraf pada area neuroforamen atau mielopati akibat kompresi medula spinalis. Keluhan subjektif yang paling sering dilaporkan meliputi nyeri aksial pada leher, serta nyeri atau parestesia pada lengan ipsilateral sesuai dengan distribusi dermatom yang terdampak (Priyanto & Wardhana, 2023).

B. Hernia nukleus pulposus torakal

Herniasi nukleus pulposus pada daerah torakal tergolong jarang ditemukan, dengan lokasi tersering di antara segmen T8 hingga L1. Sekitar 40 persen kasus menunjukkan adanya kalsifikasi. Herniasi disebut raksasa bila ukurannya melebihi 40 persen dari diameter kanalis spinalis (Court *et al.*, 2018).

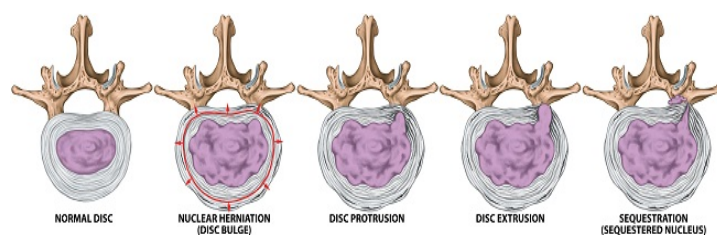
C. Hernia nukleus pulposus lumbal

Hernia nukleus pulposus paling sering terjadi pada bagian punggung bawah atau pinggang, yang dikenal sebagai hernia nukleus pulposus lumbal. Kondisi ini mendominasi mayoritas kasus klinis. Sekitar 90 persen kasus melibatkan diskus intervertebralis pada segmen L5–S1 dan L4–L5 (De Cicco & Willhuber, 2019).

2.2.5 Derajat Hernia Nukleus Pulposus

Menurut konsensus *North American Spine Society* (NASS), *American Society of Spine Radiology* (ASSR), dan *American Society of Neuroradiology* (ASNR) dalam Narayanan *et al.* (2024), sebagaimana tertuang dalam dokumen nomenklatur gabungan mereka:

- A. Protrusi: kondisi ketika materi diskus berpindah dari posisi normalnya, namun lebar herniasi yang paling menonjol masih lebih kecil dibandingkan dengan lebar dasarnya.
- B. Ekstrusi: kondisi ketika materi diskus berpindah dari posisi semula sehingga bagian herniasi yang paling menonjol memiliki lebar melebihi ukuran dasar tempat keluarnya materi tersebut dari ruang diskus intervertebralis.
- C. Sequestrasi: tahap lanjut dari ekstrusio, ketika fragmen materi diskus yang mengalami herniasi telah terlepas sepenuhnya dari diskus asalnya.



Gambar 15. Ilustrasi Derajat Keparahan Hernia Nukleus Pulposus (Fardon & Milette, 2001)

2.2.6 Manifestasi Klinis

Gejala klinis hernia nukleus pulposus bervariasi tergantung pada tingkat keparahan serta akar saraf yang terpengaruh. Pada tahap awal, gejala bisa tidak tampak. Gejala klinis mulai muncul ketika nukleus pulposus menekan saraf. Gejala yang paling umum adalah iskialgia (nyeri radikuler), yang biasanya terasa tajam, terbakar, dan berdenyut, menjalar hingga ke bawah lutut. Jika saraf sensorik terpengaruh, gejala yang muncul dapat berupa kesemutan atau mati rasa sesuai dengan dermatom yang terlibat. Apabila melibatkan *conus medullaris* atau kauda equina, dapat terjadi gangguan pada miksi, defekasi, dan fungsi seksual. Nyeri yang timbul umumnya sesuai dengan distribusi dermatom (nyeri radikuler), sedangkan kelemahan otot terjadi sesuai dengan miotom yang terpengaruh (Dydyk *et al.*, 2023).

Penekanan pada saraf L4, L5, dan S1 dapat mengakibatkan keterbatasan gerakan dorsofleksi, gerakan plantar, dan ekstensi ibu jari kaki, serta kelemahan pada otot kuadrisep. Dapat terjadi penurunan refleks tendon Achilles dan patela, yang berkontribusi pada disabilitas fungsional, seperti kesulitan berjalan, duduk, bangkit dari kursi, dan mengangkat beban. Hernia nukleus pulposus lumbal tidak hanya menimbulkan ketidaknyamanan akibat nyeri lokal dan nyeri radikuler, tetapi juga menyebabkan disabilitas fungsional yang mengganggu aktivitas sehari-hari (Donnally III & Dulebohn, 2017).

2.2.7 Pemeriksaan Fisik

Pemeriksaan fisik memiliki tingkat akurasi sedang dalam menegakkan diagnosis hernia nukleus pulposus. Salah satu uji yang paling sering digunakan adalah Tes Lasegue atau *Straight Leg Raising Test* (SLRT) untuk mendeteksi adanya kompresi radik saraf. Tes

Lasegue sisi ipsilateral bersifat sensitif, tetapi kurang spesifik, sedangkan Lasegue kontralateral memiliki spesifisitas tinggi meskipun sensitivitasnya rendah. Berdasarkan data dari studi tindakan pembedahan pada kasus saraf iskiadikus, sekitar 95% kelainan diskus ditemukan pada tingkat L4–L5 atau L5–S1, sehingga pemeriksaan fisik dapat difokuskan pada distribusi saraf L5 dan S1. Hasil pemeriksaan fisik yang dapat ditemukan meliputi kelemahan motorik, atrofi otot, dan penurunan refleks pada segmen terkait (Perhimpunan Dokter Spesialis Saraf Indonesia, 2016).

Tes *Straight Leg Raise*, yang juga dikenal sebagai tes Lasegue, merupakan manuver neurologis penting dalam pemeriksaan fisik pasien dengan nyeri punggung bawah yang bertujuan menilai adanya kompresi saraf iskiadikus akibat iritasi akar saraf lumbosakral. Tes ini dapat menunjukkan hasil positif pada berbagai kondisi, dengan hernia diskus lumbal sebagai penyebab yang paling umum. Terdapat penyebab lain yang juga dapat menghasilkan hasil positif, seperti kista sendi faset atau hipertrofi.

Tes ini dinyatakan positif apabila muncul nyeri akibat iritasi saraf iskiadikus saat tungkai diangkat pada sudut antara 30° hingga 70°. Jika nyeri muncul ketika tungkai dinaikkan pada sudut antara 35° hingga 75°, maka sumber nyeri kemungkinan berasal dari tulang belakang lumbal atau sendi sakroiliaka (Perhimpunan Dokter Spesialis Saraf Indonesia, 2016). Tes ini merupakan salah satu manuver yang paling sering dilakukan dalam praktik klinis dan memberikan informasi penting dalam pengambilan keputusan klinis untuk merujuk pasien ke spesialis, serta membantu ahli bedah tulang belakang menentukan pilihan terapi yang tepat (Franco *et al.*, 2023).

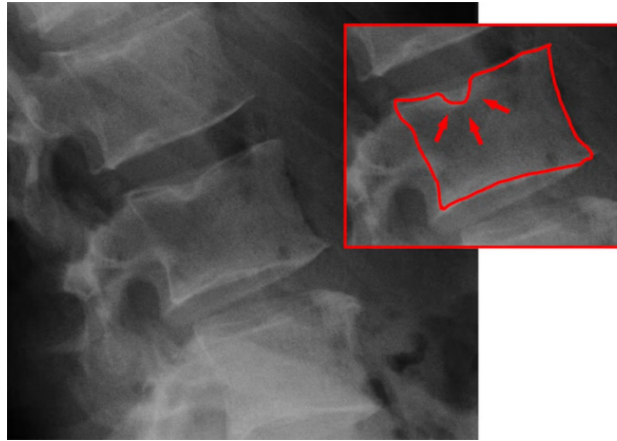
2.2.8 Pemeriksaan Penunjang Radiologis

2.2.8.1 Foto Polos Lumbosakral

Foto polos lumbosakral merupakan salah satu modalitas pencitraan awal yang sering digunakan dalam evaluasi nyeri punggung bawah, khususnya pada dugaan kasus hernia nukleus pulposus. Pemeriksaan ini umumnya dilakukan dalam proyeksi anteroposterior (AP) dan lateral, baik dalam posisi tegak (*standing*) maupun terlentang (*supine*). Radiografi polos dipilih sebagai pemeriksaan awal karena memiliki beberapa keunggulan, seperti biaya yang relatif terjangkau, ketersediaan alat yang luas di berbagai fasilitas kesehatan, serta proses pemeriksaan yang cepat dan noninvasif (Adzhani, 2021).

Foto polos digunakan sebagai pemeriksaan awal untuk menilai adanya kelainan anatomi serta posisi atau hubungan antar tulang serta menjadi dasar pertimbangan untuk pemeriksaan lanjutan, seperti MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) (Mayo, 2016). Foto polos sebenarnya tidak dapat memperlihatkan adanya hernia nukleus pulposus secara langsung. Pemeriksaan ini berguna untuk membantu menyingkirkan kemungkinan penyakit lain dengan gejala serupa.

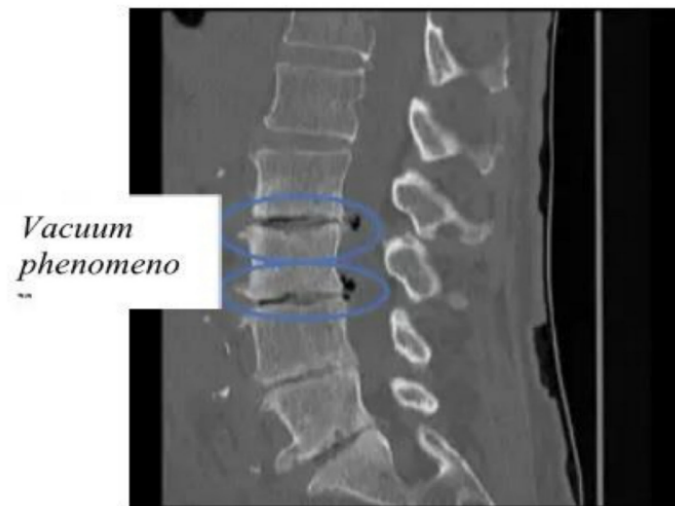
Pada foto polos pasien dengan dugaan hernia nukleus pulposus, biasanya dapat terlihat beberapa tanda tidak langsung seperti penyempitan ruang antar tulang belakang (diskus intervertebralis), munculnya tonjolan tulang kecil di tepi tulang belakang (osteofit *end plate*), adanya ruang udara di dalam diskus (*vacuum phenomenon*), serta terbentuknya lekukan kecil di permukaan tulang akibat penekanan nukleus pulposus (*schmorl's node*) (Schroeder, 2016).



Gambar 16. Gambaran *Schmorl's Node* pada Foto Polos (Berlina & Ichwanuddin, 2024)

2.2.8.2 *Computed Tomography Scan (CT Scan)*

Computed Tomography Scan (CT Scan) merupakan salah satu metode pencitraan yang mampu memberikan sensitivitas lebih dari 98% untuk cedera tulang belakang servikal dan mendekati 100% untuk cedera torakolumbal, sehingga sangat efektif dalam mengidentifikasi fraktur, dislokasi, dan patologi tulang. Dibandingkan dengan *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*, CT Scan memiliki sensitivitas yang lebih rendah untuk mendeteksi kelainan jaringan lunak, namun tetap menjadi pilihan utama pada evaluasi awal pasien trauma karena cepat, akurat, dan mudah diakses. CT Scan juga memungkinkan rekonstruksi citra dalam berbagai bidang potongan, yang membantu dokter dalam menilai stabilitas tulang belakang serta merencanakan tindakan medis lebih lanjut (Margetis *et al.*, 2025). Pada pemeriksaan CT-Scan dapat terlihat adanya *vacuum phenomenon*, yaitu gambaran berupa area yang tampak lebih terang karena berisi gas nitrogen di dalam diskus. Temuan ini menunjukkan bahwa telah terjadi proses degenerasi atau kerusakan pada diskus intervertebralis (Schroeder, 2016).



Gambar 17. Gambaran *Vacuum Phenomenon* pada CT Scan
(Berlina & Ichwanuddin, 2024)

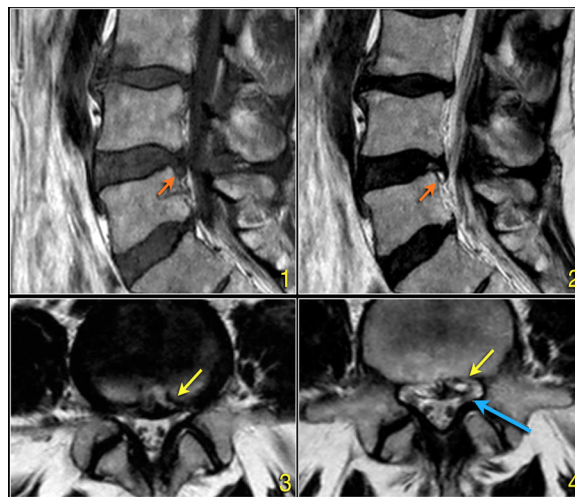
2.2.8.2 *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*

Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan metode pemeriksaan yang dianggap sebagai *gold standard* dalam menilai hernia nukleus pulposus karena mampu menyajikan gambaran yang akurat dan rinci mengenai struktur diskus intervertebralis. Pemeriksaan MRI memungkinkan identifikasi yang tepat terhadap lokasi dan luas herniasi, serta adanya kompresi atau iritasi saraf yang mungkin menyertainya (Gautam, 2023).

Magnetic Resonance Imaging (MRI) merupakan modalitas pencitraan yang paling sering digunakan untuk menilai pasien dengan keluhan iskialgia atau dugaan herniasi diskus, dengan tingkat akurasi diagnostik mencapai 97%. Meskipun dalam beberapa kasus MRI dilakukan sebelum radiografi, hasil meta-analisis dari 20 penelitian yang melibatkan pasien asimtomatik menunjukkan bahwa MRI sebaiknya tidak dijadikan pemeriksaan awal pada pasien dengan dugaan herniasi diskus akut tanpa disertai tanda atau gejala neurologis.

Hal ini disebabkan sebagian besar pasien tersebut mengalami perbaikan dalam waktu sekitar enam minggu melalui terapi fisik dan pengobatan konservatif, sehingga penggunaan MRI pada tahap awal dapat menjadi pemborosan sumber daya dan kurang efisien secara klinis (Benzakour *et al.*, 2019).

Temuan herniasi diskus pada pencitraan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) perlu dikorelasikan secara hati-hati dengan gejala dan temuan klinis objektif, karena tidak semua herniasi yang tampak secara radiologis berkaitan langsung dengan keluhan pasien. Pada pasien dengan riwayat dan gejala klinis yang sesuai, khususnya yang mengarah pada herniasi diskus lumbal disertai radikulopati, MRI direkomendasikan sebagai metode noninvasif yang tepat dan akurat untuk mengonfirmasi diagnosis (Benzakour *et al.*, 2019).



Gambar 18. Gambaran MRI Hernia Nukleus Pulposus (Finkenstaedt, 2017)

Pada gambar di atas, herniasi nukleus pulposus (panah kuning) menembus robekan pada anulus fibrosus dan menyebabkan kompresi saraf l5 sisi kiri (panah biru).

2.2.9 Tatalaksana

2.2.9.1 Tatalaksana Konservatif

Penanganan awal hernia nukleus pulposus umumnya dilakukan secara konservatif, yang meliputi istirahat, pemberian obat analgetik, serta metode nonfarmakologis seperti fisioterapi, kompres panas atau dingin, pijat, latihan peregangan, olahraga ringan, hingga terapi dekompresi. Jika diperlukan, dapat diberikan suntikan kortikosteroid epidural untuk membantu meredakan nyeri dan peradangan (Gautam, 2023).

A. Modifikasi Gaya Hidup

Faktor gaya hidup memegang peranan penting dalam manajemen terapi hernia nukleus pulposus. Beberapa kebiasaan yang dianjurkan meliputi menjaga berat badan tetap ideal, berolahraga secara rutin, mengangkat beban dengan teknik yang benar, serta menghindari aktivitas yang memberikan tekanan berlebihan pada punggung. Penting untuk mengelola stres dan kecemasan guna mendukung proses pemulihan secara menyeluruh. Modifikasi aktivitas bertujuan membantu pasien tetap menjalani kegiatan sehari-hari secara normal dengan rasa nyeri atau ketidaknyamanan yang masih dapat ditoleransi, tanpa memperburuk kondisi atau meningkatkan ketegangan pada tubuh (Rusmayanti & Kurniawan, 2023).

B. Manajemen stres

Stres dan kecemasan dapat memicu terjadinya spasme otot yang pada akhirnya memperburuk gejala hernia nukleus pulposus (Rusmayanti & Kurniawan, 2023). Penanganan

psikologis menjadi bagian penting dalam terapi. Terapi relaksasi terbukti mampu menurunkan intensitas nyeri sekaligus meningkatkan fungsi fisik penderita. Pendekatan seperti terapi perilaku kognitif (*cognitive behavioral therapy/ CBT*) dan berbagai bentuk terapi psikologis, termasuk penyuluhan, pelatihan berbasis masalah, teknik coping, pencitraan, relaksasi, penetapan tujuan, pengendalian nyeri secara kognitif, hingga olahraga telah dikaitkan dengan perbaikan gejala nyeri tingkat sedang (Qaseem *et al.*, 2017).

C. Metode Mc Kenzie

Metode McKenzie merupakan salah satu tindakan fisioterapi yang terbukti memberikan hasil optimal dalam mengurangi nyeri serta meningkatkan kemampuan fungsional. Latihan McKenzie merupakan teknik latihan berulang dengan gerakan ekstensi yang bertujuan memperkuat dan meregangkan otot-otot ekstensor serta sendi fleksor pada area lumbosakral, sehingga dapat membantu meredakan nyeri (Cookson & Stirk, 2019). Terapi dengan metode McKenzie dilakukan sebanyak tiga kali dalam seminggu, dengan setiap gerakan diulang 10 kali dan dilakukan dalam tiga set pengulangan. Selama terapi berlangsung, terapis akan memantau kondisi pasien dan memastikan latihan dilakukan dengan benar. Metode McKenzie ini dijalankan dalam total enam sesi selama satu bulan (Anggiat *et al.*, 2020).

D. Medikamentosa

Beberapa terapi simptomatik dapat diberikan untuk mengurangi keluhan pasien. Pada nyeri akibat inflamasi, dapat dilakukan pemberian obat antiinflamasi seperti steroid dan nonsteroid antiinflamasi (*non-steroidal anti-inflammatory*

drug/ NSAID). Obat pelemas otot yang dapat digunakan antara lain *eperisone hydrochloride*, diazepam, dan tizanidine. Analgesik golongan opioid dengan efek ringan, seperti kodein, juga dapat diberikan. Penatalaksanaan medikamentosa lain meliputi pemberian ketorolac 30 mg setiap 8 jam, ranitidin 25 mg setiap 12 jam, *eperisone hydrochloride* 50 mg dua kali sehari, metilprednisolon 1,25 mg per hari, parasetamol 1000 mg tiga kali sehari, diazepam 2 mg dua kali sehari, serta vitamin B12 sebanyak tiga kali sehari (Fitriyani & Putri, 2024).

2.2.9.2 Tatalaksana Operatif

Hernia nukleus pulposus umumnya dapat ditangani secara konservatif, dikarenakan sebagian besar pasien mengalami perbaikan gejala secara spontan. Studi menunjukkan bahwa 60–80% pasien mengalami perbaikan dalam kurun waktu enam hingga 12 minggu, dan angka ini meningkat menjadi 80–90% dalam jangka panjang (≥ 1 tahun). Pada kasus tanpa defisit neurologis yang signifikan, pedoman klinis merekomendasikan penatalaksanaan konservatif selama minimal enam hingga 12 minggu sebelum mempertimbangkan tindakan bedah (Kögl *et al.*, 2024).

Tatalaksana operatif dapat menjadi pilihan utama dalam kondisi tertentu. Indikasi absolut untuk pembedahan segera berupa diskektomi lumbal adalah adanya gangguan kandung kemih atau usus disertai kelemahan otot maupun defisit neurologis yang terus memburuk, seperti pada sindrom cauda equina. Kondisi ini merupakan kegawatdaruratan medis yang memerlukan dekompresi segera dalam waktu 24 hingga 48

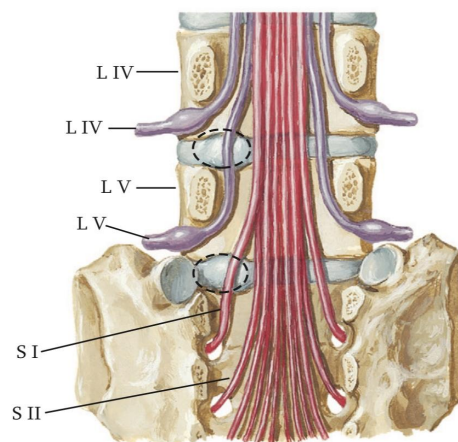
jam untuk mencegah kerusakan neurologis permanen (Kögl *et al.*, 2024).

Selain indikasi absolut, terdapat pula indikasi relatif yang dapat bervariasi tergantung pada penilaian klinis antara dokter dan pasien. Indikasi tersebut meliputi tingkat nyeri dan disabilitas yang berat, kegagalan terapi konservatif, adanya radikulopati khas dengan defisit neurologis, serta lamanya keluhan. Pembedahan dianjurkan pada pasien dengan kelemahan motorik berat karena intervensi segera dalam tiga hari pertama dapat memberikan pemulihan yang lebih baik. Pada pasien dengan paresis ringan, pembedahan tetap dapat dipertimbangkan jika terdapat gangguan fungsi yang bermakna (Kögl *et al.*, 2024).

2.3 Penekanan Radiks Saraf

2.3.1 Hubungan Radiks Saraf Spinalis dan Vertebra

Protrusi diskus lumbalis umumnya tidak memengaruhi saraf yang keluar di atasnya. Protrusi lateral pada diskus L4–L5 memengaruhi saraf spinalis L5, bukan saraf spinalis L4. Protrusi pada diskus L5–S1 memengaruhi saraf spinalis S1, bukan saraf spinalis L5 (Netter, 2019).

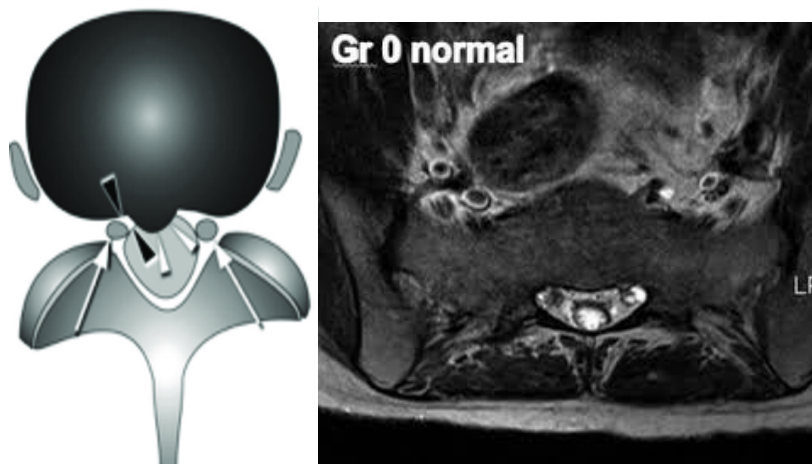


Gambar 19. Skema Hubungan Radiks Saraf Spinal dengan Vertebra (Netter, 2019)

2.3.2 Klasifikasi Derajat Penekanan Radiks Saraf

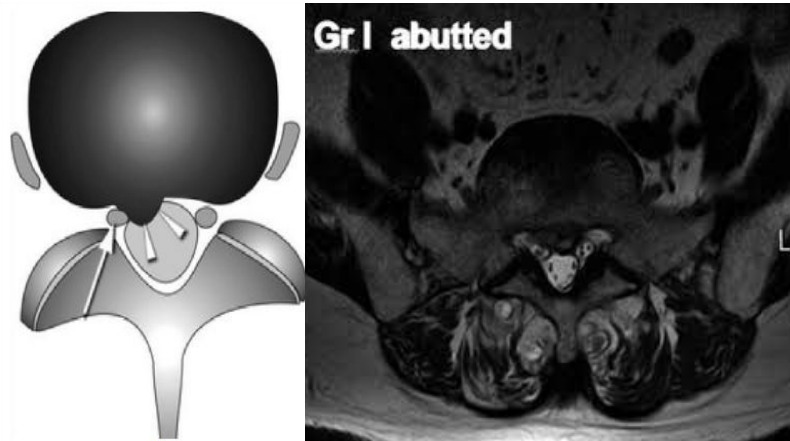
Menurut klasifikasi Pfirrmann dalam Kaliya-Perumal *et al.* (2018), derajat herniasi materi diskus terhadap radiks saraf berdasarkan pemeriksaan MRI dibagi menjadi empat kategori.

- A. Penekanan radiks saraf derajat 0 (normal): menunjukkan bahwa tidak terdapat kontak antara materi diskus yang mengalami herniasi dengan radiks saraf. Lapisan lemak epidural yang memisahkan radiks saraf dan materi diskus yang herniasi masih tampak jelas.



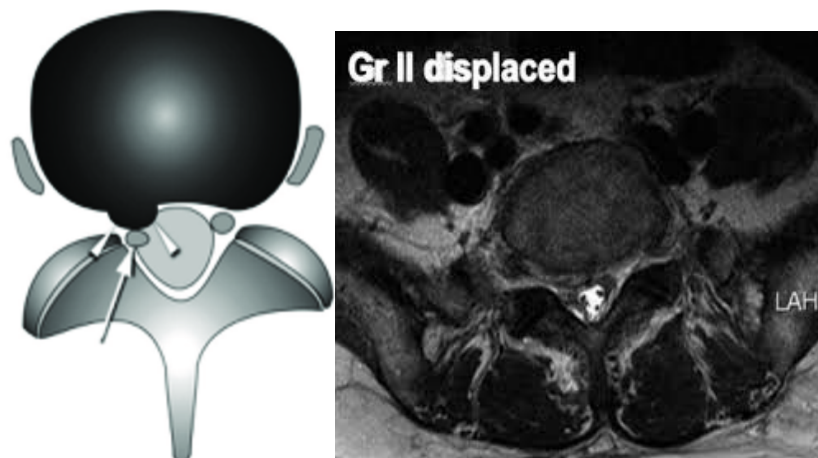
Gambar 20. Derajat 0 Penekanan Radiks Saraf (Pfirrmann *et al.*, 2004)

- B. Penekanan radiks saraf derajat 1 (kontak): ditandai dengan adanya kontak antara jaringan diskus yang mengalami herniasi dan radiks saraf. Lapisan lemak epidural yang biasanya memisahkan keduanya tidak tampak. Meskipun demikian, posisi radiks saraf masih normal dan tidak tampak mengalami pergeseran ke arah dorsal.



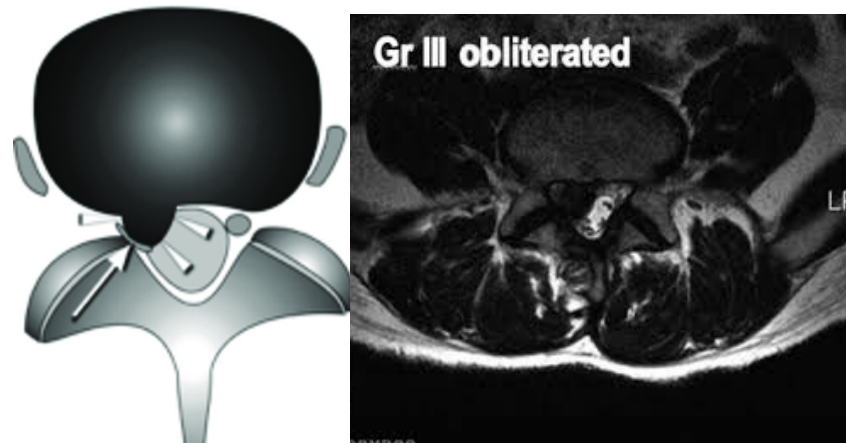
Gambar 21. Derajat 1 Penekanan Radiks Saraf (Pfirrmann *et al.*, 2004)

- C. Penekanan radiks saraf derajat 2 (deviasi): ditandai dengan pergeseran radiks saraf ke arah dorsal sebagai akibat dari tekanan yang diberikan oleh materi diskus yang mengalami herniasi.



Gambar 22. Derajat 2 Penekanan Radiks Saraf (Pfirrmann *et al.*, 2004)

- D. Penekanan radiks saraf derajat 3 (kompresi): terjadi ketika radiks saraf terjepit di antara materi diskus yang herniasi dan dinding kanalis spinalis, sehingga radiks saraf tidak lagi dapat dibedakan secara jelas dari jaringan diskus yang menekan.



Gambar 23. Derajat 3 Penekanan Radiks Saraf (Pfirrmann *et al.*, 2004)

2.4 Atrofi Muskulus Multifidus

Atrofi otot adalah penurunan massa dan fungsi otot yang terjadi sebagai respons terhadap hilangnya protein miofibril secara patologis, tidak digunakan, penuaan, atau denervasi akibat cedera maupun gangguan saraf tepi. Disfungsi dan kegagalan otot paraspinal sering ditemukan pada pasien dengan nyeri punggung bawah. Berbagai patologi tulang belakang, seperti herniasi diskus lumbal dan penyebab nyeri punggung lainnya, dapat memicu perubahan signifikan pada struktur dan fungsi otot ini. Perubahan yang terjadi meliputi peningkatan infiltrasi lemak dan jaringan ikat di dalam otot, perubahan tipe serat otot, gangguan populasi sel, perubahan ekspresi gen, penurunan daya tahan dan kekuatan otot, serta terjadinya atrofi otot (Demirel *et al.*, 2023).

Temuan tersebut umumnya terjadi bersamaan dengan proses denervasi dan reinervasi otot paraspinal, terutama pada kasus herniasi diskus dan kompresi akar saraf. Kondisi ini menyebabkan penurunan volume otot serta peningkatan infiltrasi lemak yang dapat diidentifikasi melalui pemeriksaan radiologis, seperti MRI. Perubahan morfologi dan fungsi otot paraspinal tersebut berkontribusi pada penurunan stabilitas tulang

belakang dan memperburuk nyeri punggung bawah yang dialami pasien (Demirel *et al.*, 2023).

2.4.1 Patofisiologi

Penyakit degeneratif pada daerah lumbal sering disertai cedera saraf, dan sebagian besar hasil elektromiografi menunjukkan tanda-tanda denervasi. Denervasi pada multifidus menimbulkan berbagai perubahan patologis, antara lain penurunan diameter serat otot dan luas penampang bundel otot, pelarutan mitokondria dalam serat otot, serta ketidakaturan sistem *tubulus transversus*. Berkurangnya jumlah mitokondria menurunkan aktivitas pompa natrium–kalium, melemahkan suplai energi dari siklus asam trikarboksilat, dan mengurangi kekuatan otot. Ketiadaan proprioceptor pada musculus multifidus juga mengganggu refleksi *feedforward* serta menurunkan stabilitas tulang belakang (Wang *et al.*, 2021).

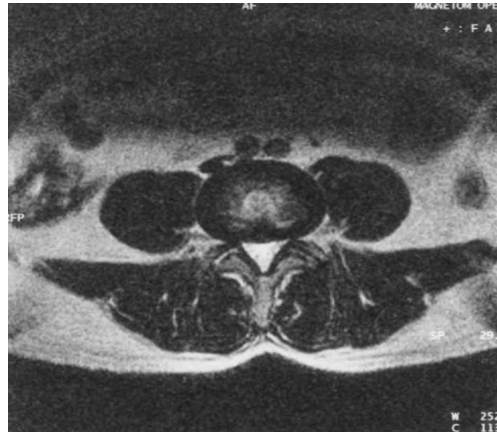
Mekanisme patofisiologi utama meliputi dua proses, yaitu berkurangnya aktivitas otot akibat *disuse* dan denervasi akibat kompresi atau iritasi saraf. Meskipun atrofi denervasi pada otot paraspinal tidak selalu dominan pada kasus herniasi diskus, inhibisi neurologis jangka panjang pada musculus multifidus lumbal pascaepisode nyeri punggung bawah merupakan penyebab umum degenerasi otot. Kondisi ini sering diperburuk oleh trauma atau cedera lumbal, di mana atrofi musculus multifidus lumbal menunjukkan korelasi signifikan dengan tingkat keparahan nyeri dan disfungsi tulang belakang (Faur *et al.*, 2019).

2.4.2 Klasifikasi Muskulus Multifidus Lumbal

Kader *et al.* (2000) menggunakan MRI dalam mengevaluasi atrofi musculus multifidus lumbal, dimana atrofi didefinisikan sebagai

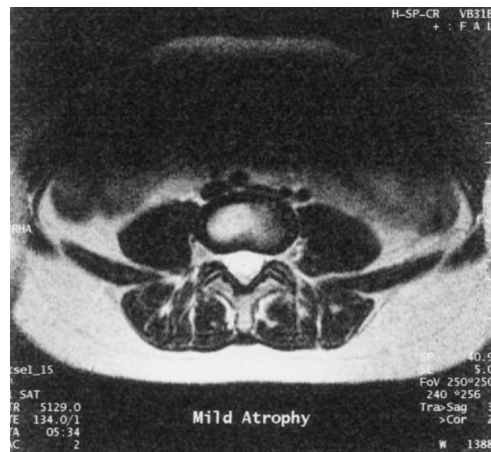
penggantian otot dengan lemak dan jaringan fibrosa. Skala gradasi peringkat untuk atrofi musculus multifidus lumbal terdiri dari ringan, sedang dan berat.

- A. Derajat 0 (tidak ada atrofi): tidak ditemukan penggantian otot oleh jaringan lemak atau jaringan fibrosa.



Gambar 24. Muskulus Multifidus Lumbal Normal (Kader *et al.*, 2000)

- B. Derajat 1 (atrofi otot ringan) : penggantian otot < 10% dengan jaringan lemak dan jaringan fibrosa.



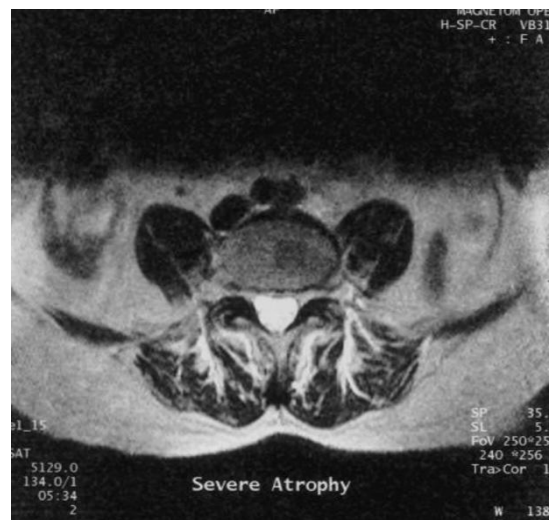
Gambar 25. Atrofi Ringan Muskulus Multifidus Lumbal (Kader *et al.*, 2000)

- C. Derajat 2 (atrofi otot sedang): penggantian otot $\geq 10\%$ atau $\leq 50\%$ dengan jaringan lemak dan fibrosa.



Gambar 26. Atrofi Sedang Muskulus Multifidus Lumbal
(Kader *et al.*, 2000)

D. Derajat 3 (atrofi otot berat) : penggantian otot > 50% dengan jaringan lemak dan fibrosa.



Gambar 27. Atrofi Berat Muskulus Multifidus Lumbal
(Kader *et al.*, 2000)

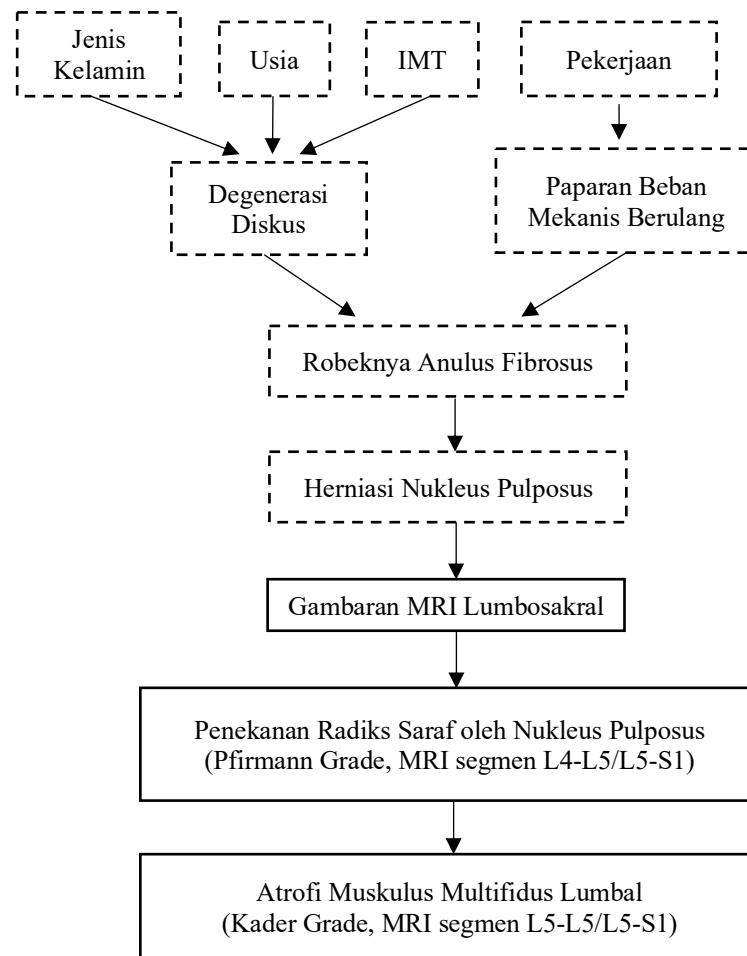
2.4.3 Patogenesis Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal dengan Hernia Nukleus Pulposus

Pada kondisi kronis, inhibisi saraf yang berkepanjangan memicu penggantian progresif serabut otot sehat dengan jaringan adiposa.

Fenomena ini tampak jelas melalui peningkatan infiltrasi lemak intramuskular pada pemeriksaan MRI. Perubahan struktural tersebut tidak hanya mengurangi volume otot, tetapi juga mengganggu fungsi stabilisasi tulang belakang, sehingga memperpanjang siklus nyeri dan disabilitas. Studi radiologis secara konsisten menunjukkan bahwa atrofi otot paraspinal, yang ditandai dengan penurunan luas penampang lintang (*cross-sectional area/CSA*) dan peningkatan proporsi lemak intramuskular, ditemukan pada 20–60% kasus nyeri punggung bawah kronis. Muskulus multifidus lumbal pada segmen L4–L5 dan L5–S1 merupakan area yang paling rentan (Tieppo *et al.*, 2023).

Hubungan antara herniasi diskus dan atrofi otot paraspinal juga diperkuat oleh bukti bahwa kompresi akar saraf dapat menyebabkan denervasi parsial. Mekanisme utama degenerasi otot pada hernia nukleus pulposus lebih sering dipicu oleh *disuse* atau perubahan biomekanik sekunder. Penilaian komprehensif melalui MRI tidak hanya berperan dalam menegakkan diagnosis derajat herniasi, tetapi juga dalam memetakan tingkat atrofi otot yang menjadi dasar intervensi rehabilitasi untuk memulihkan fungsi muskuloskeletal (Tieppo *et al.*, 2023).

2.5 Kerangka Teori



Keterangan :

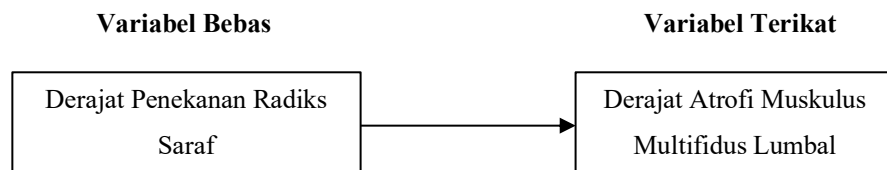
———— : diteliti

----- : tidak diteliti

Gambar 28. Kerangka Teori

(Kader *et al.*, 2000; Pfirrmann *et al.*, 2004; Rubin, 2016; Amin, Andra *et al.*, 2017; Benzakour *et al.*, 2019; Faur *et al.*, 2019; Fjeld *et al.*, 2019; Netter, 2019; Wairisal, 2021; Wang *et al.*, 2021; Hatlah *et al.*, 2021; Tieppo Francio *et al.*, 2023; Demirel *et al.*, 2023; Gautam, 2023; Hincapié *et al.*, 2025)

2.6 Kerangka Konsep



Gambar 29. Kerangka Konsep

2.7 Hipotesis Penelitian

2.7.1 Hipotesis Nol (H0)

Tidak terdapat korelasi antara derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi musculus multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Provinsi Lampung periode 2023–2025.

2.7.2 Hipotesis Alternatif (H1)

Terdapat korelasi antara derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi musculus multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Provinsi Lampung periode 2023–2025.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian ini adalah studi observasional analitik dengan pendekatan *cross-sectional* retrospektif karena peneliti menilai gambaran MRI lumbosakral pasien hernia nukleus pulposus periode 2023–2025 berdasarkan rekam medis dan data radiologi yang telah tersedia. Variabel bebas berupa derajat penekanan radiks saraf dan variabel terikat berupa derajat atrofi musculus multifidus dinilai secara bersamaan pada hasil MRI, sehingga tidak terdapat tindak lanjut (*follow-up*) terhadap pasien.

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Instalasi Rekam Medis RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Bandar Lampung.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2025.

3.3 Populasi dan Sampel Penelitian

3.3.1 Populasi Penelitian

Populasi pada penelitian ini adalah seluruh rekam medis pasien terdiagnosis hernia nukleus pulposus yang datang ke Instalasi

Radiologi RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Bandar Lampung untuk menjalani pemeriksaan MRI lumbosakral periode 2023–2025. Total populasi yaitu sebanyak 106 pasien.

3.3.2 Sampel Penelitian

Sampel penelitian ini adalah seluruh rekam medis pasien hernia nukleus pulposus di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Bandar Lampung periode 2023–2025 yang memenuhi kriteria inklusi dan tidak termasuk ke dalam kriteria eksklusi.

3.3.3 Besar Sampel Penelitian

Besar sampel yang digunakan dalam penelitian ini dihitung dengan rumus besar sampel uji korelasi.

$$n = \left[\frac{Z_{\alpha} + Z_{\beta}}{0,5 \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right]^2 + 3$$

Keterangan :

Z_{α} = deviat baku alfa ($\alpha = 0.05$) = 1.96

Z_{β} = deviat baku beta (power 95%) = $Z_{\beta} = 1.96$

r = korelasi minimal yang dianggap bermakna = 0,5 (Rostini, 2014)

$$\frac{1+r}{1-r} = \frac{1+0,5}{1-0,5} = \frac{1,50}{0,50} = 3$$

$$Z_{\alpha} + Z_{\beta} = 1,96 + 1,28 = 3,24$$

Perhitungan :

$$n = \left[\frac{3,60}{0,5 \ln 3} \right]^2 + 3$$

$$n = \left[\frac{3,60}{0,5493} \right]^2 + 3$$

$$n = 45.9 \approx 46$$

Untuk nilai r di atas dikutip berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rostini (2014). Nilai r yang telah disebutkan dimasukkan ke dalam rumus perhitungan, sehingga diperoleh besar sampel sebanyak 38 orang. Untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya *drop out*, jumlah tersebut ditambah sebesar 10% dari total sampel, sehingga jumlah sampel yang akan digunakan adalah 51 orang.

3.3.4 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan metode *total sampling*, yaitu sampel yang diambil adalah semua sampel yang memenuhi kriteria inklusi dan tidak memenuhi kriteria eksklusi.

3.4 Identifikasi Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah derajat penekanan radiks saraf pasien terdiagnosis hernia nukleus pulposus di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Bandar Lampung periode 2023–2025.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah derajat atrofi musculus multifidus lumbal pada pasien terdiagnosis hernia nukleus pulposus di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Bandar Lampung periode 2023–2025.

3.5 Kriteria Sampel

3.5.1 Kriteria Inklusi

1. Rekam medis pasien dengan diagnosis hernia nukleus pulposus yang telah dikonfirmasi berdasarkan kriteria klinis dan radiologis.
2. Rekam medis pasien yang memiliki hasil pemeriksaan radiologi MRI lumbosakral periode 2023–2025.

3.5.2 Kriteria Eksklusi

1. Rekam medis pasien terdiagnosis hernia nukleus pulposus yang memiliki riwayat trauma atau fraktur pada tulang belakang.
2. Data pada rekam medis tidak lengkap.
3. Pernah menjalani operasi tulang belakang.
4. Riwayat trauma, infeksi dan tumor pada tulang belakang.
5. Kelainan perkembangan atau skoliosis.
6. Kelainan kongenital tulang belakang.

3.6 Kriteria Sampel

Tabel 1. Definisi Operasional

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
Derajat atrofi muskulus multifidus lumbal	Tingkat keparahan penggantian jaringan otot multifidus lumbal oleh lemak dan jaringan fibrous yang dapat diidentifikasi melalui pemeriksaan MRI lumbosakral.	Rekam Medis	- Derajat 0 (tidak ada atrofi): tidak ada penggantian otot dengan jaringan lemak dan jaringan fibrous. - Derajat 1 (atrofi otot ringan) : penggantian otot < 10% dengan jaringan lemak dan jaringan fibrous. - Derajat 2 (atrofi otot sedang): penggantian otot $\geq 10\%$ atau $\leq 50\%$ dengan jaringan lemak dan fibrous. - Derajat 3 (atrofi otot berat) : penggantian otot > 50% dengan jaringan lemak dan fibrous (Kader <i>et al.</i>, 2000).	Ordinal
Derajat penekanan radiks saraf	Tingkat keparahan kompresi atau tekanan pada akar saraf yang diukur melalui pemeriksaan MRI lumbosakral. Penekanan ini dapat berupa deviasi, pergeseran, atau kompresi radiks saraf akibat hernia nukleus pulposus.	Rekam Medis	- Derajat 0 : tidak tampak adanya kontak antara materi diskus yang mengalami herniasi dengan radiks saraf. - Derajat 1 : terdapat kontak antara materi diskus yang mengalami herniasi dengan radiks saraf. Radiks saraf tetap berada pada posisi normal tanpa adanya deviasi ke arah dorsal. - Derajat 2 : radiks saraf mengalami pergeseran ke arah dorsal akibat penekanan oleh materi diskus yang mengalami herniasi (deviasi). - Derajat 3 : radiks saraf mengalami kompresi antara materi diskus yang mengalami herniasi dan dinding kanalis spinalis. Radiks saraf tidak lagi dapat dibedakan dari materi diskus (Pfirrmann <i>et al.</i>, 2004).	Ordinal

3.7 Instrumen Penelitian

1. Keterangan hasil rontgen yang tercantum pada rekam medis pasien yang terdiagnosis hernia nukleus pulposus di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Bandar Lampung periode 2023–2025.
2. Alat tulis, seperti pena dan kertas.
3. *Logbook* identitas pasien. Berisi nomor rekam medis pasien serta kode ICD-10 (*International Classification of Diseases, 10th Revision*) untuk mempermudah pengambilan data rekam medis.
4. Laptop Asus Vivobook M415DAO dan iPad Gen 10 sebagai sarana untuk memasukkan dan mengolah data, serta membuat laporan.
5. Aplikasi RadiAnt DICOM Viewer versi 2025.2 digunakan sebagai perangkat lunak penampil citra DICOM untuk menampilkan, menavigasi, dan memilih irisan (*slice*) MRI lumbosakral yang sesuai untuk dianalisis sebelum dilakukan pengukuran kuantitatif menggunakan perangkat lunak ImageJ.
6. Perangkat lunak ImageJ versi 1.54p + Fiji (pengaya/ *flugin*) digunakan sebagai alat analisis kuantitatif untuk mengukur luas penampang otot (cross-sectional area/ CSA) muskulus multifidus serta luas infiltrasi lemak intramuskular pada citra MRI lumbosakral.
7. Aplikasi *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) digunakan untuk uji analisis data.

3.8 Prosedur dan Alur Penelitian

3.8.1 Prosedur Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun proposal dan melakukan seminar proposal.
2. Meminta surat pengantar dari Fakultas Kedokteran Universitas Lampung untuk melakukan penelitian setelah proposal sudah disetujui oleh pembimbing.

3. Mengajukan penelitian kepada Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Lampung untuk mendapatkan surat izin penelitian dan kelayakan etik.
4. Pengumpulan data dilakukan melalui rekam medis pasien terdiagnosis hernia nukleus pulposus di RSUD DR. H. Abdul Moeloek periode 2023–2025.
5. Pengukuran variabel, pengolahan data, analisis data serta penyajian data dalam bentuk laporan hasil penelitian.
6. Melakukan seminar hasil penelitian untuk memaparkan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan.

3.8.2 Pengukuran Derajat Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal

3.8.2.1 Perangkat Lunak ImageJ

Pengukuran atrofi muskulus multifidus lumbal pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ versi 1.54p yang dilengkapi dengan pengaya (*plugin*) Fiji. Kombinasi tersebut memungkinkan proses impor berkas citra berformat DICOM secara langsung dari RadiAnt DICOM Viewer versi 2025.2 tanpa perlu konversi tambahan. Keunggulan utama penggunaan ImageJ dengan dukungan Fiji adalah perangkat lunak ini secara otomatis membaca metadata asli dari berkas DICOM, termasuk jarak piksel (*pixel spacing*) dan ketebalan irisan (*slice thickness*). Dengan demikian, proses kalibrasi manual tidak diperlukan karena skala pengukuran luas penampang otot (*cross-sectional area/ CSA*) telah terstandarisasi secara otomatis dalam satuan mm². Fitur ini memastikan bahwa pengukuran CSA dilakukan secara akurat dan konsisten pada setiap irisan MRI.

Penggunaan ImageJ dalam penelitian ini didasarkan pada bukti bahwa perangkat lunak tersebut telah terbukti memiliki

reliabilitas yang tinggi dalam berbagai studi analisis citra medis. ImageJ telah diuji melalui pendekatan *intraclass correlation coefficient* (ICC) dan menunjukkan konsistensi pengukuran yang sangat baik. Studi terbaru oleh Liu *et al.* (2024) pada segmentasi otot paraspinal menunjukkan bahwa pengukuran CSA dan FCSA memiliki reliabilitas yang tinggi, bahkan ketika dibandingkan antar perangkat lunak (termasuk ImageJ), sehingga menguatkan konsistensi pengukuran berbasis citra.

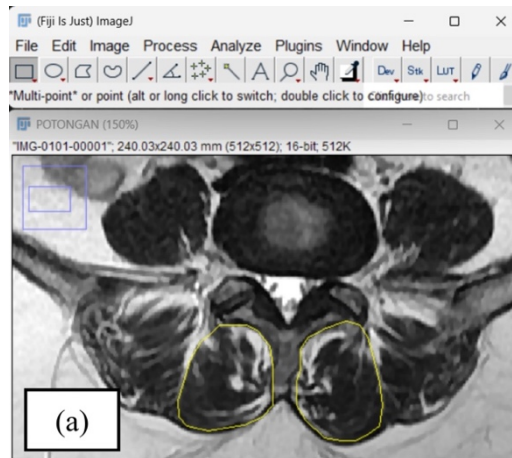
Beberapa penelitian terdahulu telah memanfaatkan perangkat lunak ImageJ sebagai alat analisis. Ozer dan Guler (2024) menggunakan ImageJ untuk menilai derajat infiltrasi lemak pada otot paraspinal. Penelitian lain yang dilakukan oleh Carvalho *et al.* (2022) memanfaatkan ImageJ dalam pengukuran derajat atrofi musculus multifidus, psoas, dan erector spinae.

3.8.2.2 Prosedur Pengukuran Derajat Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal

Pengukuran atrofi musculus multifidus dilakukan melalui analisis citra potongan aksial MRI lumbosakral 1,5 tesla menggunakan aplikasi ImageJ. Citra MRI axial pada level L4-L5 dan/ atau L5-S1 dipilih berdasarkan tampilan paling jelas dari otot multifidus. File MRI dalam format DICOM diimpor ke dalam ImageJ untuk proses analisis.

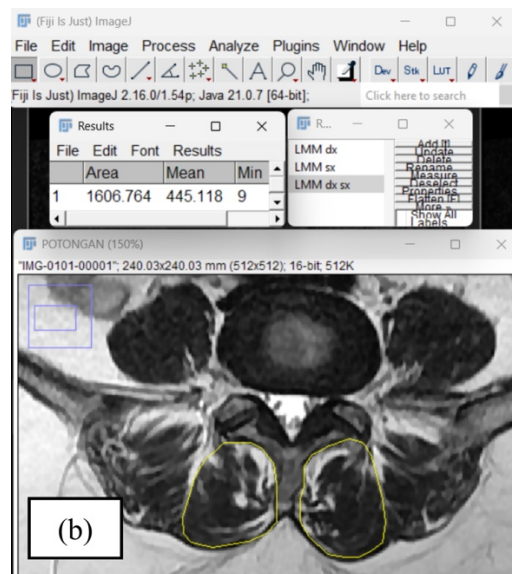
Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Menentukan ROI (*Region of Interest*) area musculus multifidus kanan dan kiri ditandai secara manual menggunakan fitur *Freehand Selection Tool*.



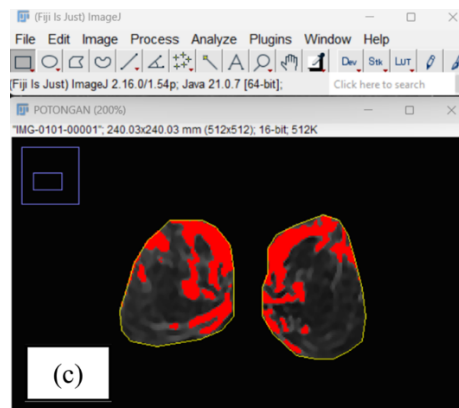
Gambar 30. Penentuan *Region of Interest* (ROI)

2. Menghitung *Cross-Sectional Area* (CSA) musculus multifidus (Ctrl+ M pada Windows / Command + M pada Mac). Setelah ROI ditentukan, luas penampang otot (CSA) dihitung secara otomatis oleh ImageJ dalam satuan mm².



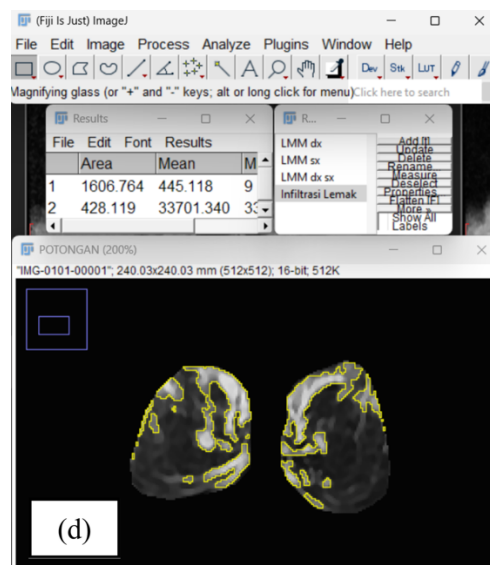
Gambar 31. Pengukuran *Cross-Sectional Area* (CSA) Otot

3. Pengukuran infiltrasi lemak dilakukan dengan menganalisis intensitas sinyal dalam area ROI menggunakan fitur *thresholding* (Ctrl + Shift + T pada Windows/ Command + Shift + T pada Mac) untuk membedakan jaringan otot dan jaringan lemak. Menentukan *Region of Interest* (ROI) infiltrasi lemak.



Gambar 32. Analisis Intensitas Sinyal Infiltrasi Lemak Dengan Fitur *Thresholding*

4. Setelah area lemak diidentifikasi, luas area infiltrasi lemak dihitung secara otomatis oleh ImageJ dalam satuan mm² (Ctrl+M pada Windows / Command + M pada Mac).



Gambar 33. Pengukuran Luas Area Infiltrasi Lemak

5. Proporsi infiltrasi lemak dihitung sebagai persentase luas jaringan lemak terhadap total CSA otot dengan rumus:

$$\text{Presentase Infiltrasi Lemak (\%)} = \frac{\text{Total Luas Area Lemak}}{\text{Total CSA Muskulus Multifidus}} \times 100\%$$

6. Data hasil pengukuran akan dianalisis secara statistik untuk melihat korelasi antara derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi musculus multifidus.

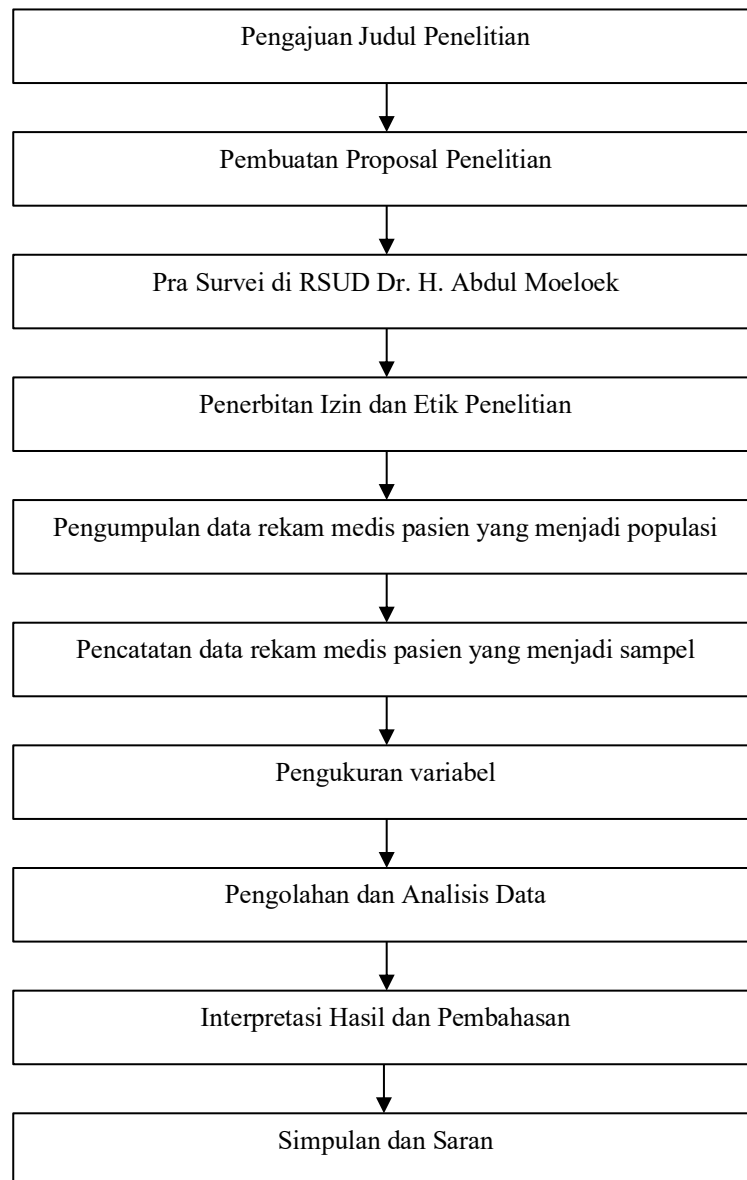
3.8.3 Pengukuran Derajat Penekanan Radiks Saraf

Penilaian derajat penekanan radiks saraf dilakukan secara manual dengan meninjau potongan aksial MRI lumbosakral 1,5 Tesla pada segmen yang mengalami herniasi diskus. Proses interpretasi melibatkan *relevant expertise*, yaitu dokter spesialis radiologi, guna memastikan validitas dan objektivitas data.

Langkah-langkah prosedurnya sebagai berikut:

1. Identifikasi segmen lumbal yang terdampak hernia nukleus pulposus: citra MRI dievaluasi untuk menentukan level herniasi (misalnya L4-L5 atau L5-S1).
2. Tinjauan potongan aksial: potongan aksial digunakan untuk melihat korelasi antara diskus intervertebralis dan radiks saraf dalam foramen intervertebralis.
3. Penilaian derajat penekanan dilakukan berdasarkan kriteria visual.
4. Pencatatan hasil: derajat penekanan dicatat dalam kategori ringan, sedang, atau berat, sesuai temuan MRI untuk masing-masing pasien.

3.8.4 Alur Penelitian



3.9 Manajemen Data

3.9.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yaitu rekam medis pasien terdiagnosis hernia nukleus pulposus

periode 2023-2025 yang memenuhi kriteria inklusi dan kriteria eksklusi.

3.9.2 Analisis Data

Data yang diperoleh dari proses pengumpulan data akan diubah kedalam bentuk tabel, kemudian diolah menggunakan program *software* statistik pada komputer.

Proses pengolahan data menggunakan program tersebut terdiri dari beberapa langkah:

1. *Coding* : mengubah atau menerjemahkan data yang diperoleh selama penelitian ke dalam bentuk simbol yang sesuai untuk dianalisis.
2. *Data Entry* : memasukkan data ke dalam sistem komputer.
3. Verifikasi : melakukan pemeriksaan secara visual terhadap data yang telah dimasukkan untuk memastikan keakuratannya.
4. *Output Komputer* : hasil analisis yang diproses oleh komputer dan kemudian dicetak.

3.9.2.1 Analisis Univariat

Analisis univariat digunakan untuk mendeskripsikan distribusi frekuensi masing-masing variabel secara terpisah, baik variabel bebas maupun terikat. Hasil analisis ini disajikan dalam tabel distribusi frekuensi dalam bentuk persentase dan proporsi, dengan tujuan memberikan gambaran mengenai kondisi serta variabel yang diteliti (Machali, 2021).

3.9.2.2 Analisis Bivariat

Analisis bivariat dilakukan untuk mengetahui korelasi antara variabel bebas yaitu derajat penekanan radiks saraf (derajat 0, derajat 1, derajat 2, derajat 3) terhadap variabel terikat yaitu derajat atrofi muskulus multifidus lumbal (derajat 0, derajat 1, derajat 2, derajat 3). Seluruh variabel dalam penelitian ini telah dikategorikan dan memiliki skala kategorik ordinal, sehingga analisis hubungan dilakukan dengan uji korelasi Gamma. Uji korelasi Gamma digunakan untuk menilai hubungan yang berpola teratur atau sejalan antar dua variabel ordinal tanpa mensyaratkan distribusi tertentu. Nilai koefisien Gamma berkisar antara -1 hingga $+1$, di mana nilai positif menunjukkan hubungan searah dan nilai negatif menunjukkan hubungan berlawanan arah sementara nilai 0 menunjukkan tidak adanya asosiasi ordinal. Korelasi dinyatakan bermakna secara statistik apabila diperoleh nilai $p < 0,05$. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak pengolah data statistik. Nilai $p < 0,05$ menunjukkan adanya korelasi yang signifikan antara kedua variabel. Seluruh proses analisis statistik dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak pengolah data statistik (*Statistical Package for the Social Sciences/ SPSS*) (Barbiero *et al.*, 2020).

3.10 Etik Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan setelah mengajukan dan mendapat persetujuan *ethical clearance* oleh Tim Komisi Etik RSUD Dr. H. Abdoel Moeloek dengan nomor 000.9.2/0985B/VII.01/X/2025

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai korelasi derajat penekanan radiks saraf dengan derajat atrofi musculus multifidus lumbal pada pasien hernia nukleus pulposus (HNP) di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek, dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi positif yang bermakna antara derajat penekanan radiks saraf dan derajat atrofi musculus multifidus lumbal. Hasil uji korelasi Gamma menunjukkan kekuatan korelasi sangat kuat dengan nilai $r = 0,905$ dan tingkat signifikansi $p = 0,000$.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, peneliti merumuskan beberapa saran yang dapat dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan lebih dari satu fasilitas pelayanan kesehatan atau menggunakan desain multisenter, sehingga hasil penelitian dapat merepresentasikan populasi pasien hernia nukleus pulposus yang lebih luas dan memiliki daya generalisasi yang lebih baik.
2. Penelitian berikutnya diharapkan dapat meneliti variabel tambahan yang berpotensi memengaruhi atrofi musculus multifidus lumbal, seperti derajat nyeri radikulopati, tingkat aktivitas fisik, durasi keluhan, serta riwayat terapi konservatif maupun operatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo-Elhoda, P.M. *et al.* (2025) 'Magnetic resonance imaging correlation between lumbar disc herniation and multifidus muscle degeneration', *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*.
- Adzhani, F. (2021) *Perbedaan Kepekaan Antara Foto Polos Lumbosakral Konvensional dan Dinamik untuk Menilai Penyakit Degeneratif Sendi Tulang Belakang*. Universitas Sebelas Maret.
- Amelot, A. and Mazel, C. (2018) 'The Intervertebral Disc: Physiology and Pathology of a Brittle Joint', *World Neurosurgery*.
- Amin, R., Andrade, N. and Neuman, B. (2017) 'Lumbar disc herniation', *Curr Rev Musculoskelet Med*.
- Anggiat, L. *et al.* (2020) 'Comparison Between Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and McKenzie Method in Lumbar Range Of Motion on Non-Specific Low Back Pain', *Journal of Physical Education; Sport, Health and Recreation*.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (2013) *Riset Kesehatan Dasar*. Jakarta.
- Balevi Batur, E. (2024) 'Assessing the Correlation Between the Lumbar Disc Herniation Degree and Multifidus Muscle Fatty Degeneration in Chronic Low Back Pain', *Cureus*.
- Barbiero, A. and Hitaj, & A. (2020) 'Goodman and Kruskal's Gamma Coefficient for Ordinalized Bivariate Normal Distributions', *Psychometrika*.
- Bathari, N.L. (2024) *Pengaruh usia, indeks massa tubuh dan jenis kelamin dengan derajat protusio hernia nukleus pulposus lumbal berdasarkan gambaran MRI di RSPAD Gatot Soebroto tahun 2020-2022*. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
- Benzakour, T. *et al.* (2019) 'Current concepts for lumbar disc herniation', *International Orthopaedics*.
- Berlina, L. and Ichwanuddin, I. (2024) 'Hernia Nukleus Pulposus', *Termometer*:

- Bhat, A.R. *et al.* (2016) 'Incidence, histopathology, and surgical outcome of tumors of spinal cord, nerve roots, meninges, and vertebral column - Data based on single institutional (Sher-i-Kashmir Institute of Medical Sciences) experience.', *Journal of neurosciences in rural practice*.
- Bogduk, N. (2016) *Handbook of Clinical Neurology: Functional anatomy of the spine*. Elsevier.
- Carvalho, V. *et al.* (2022) 'Relationship between fatty infiltration of paraspinal muscles and clinical outcome after lumbar discectomy.', *Brain & spine*.
- Chalian, M. *et al.* (2012) 'Prediction of transitional lumbosacral anatomy on magnetic resonance imaging of the lumbar spine', *World Journal of Radiology*.
- Chen, Z. *et al.* (2024) 'Prevalence of lumbar disc herniation and its associated factors: A cross-sectional study in Gansu', *PLOS ONE*. Edited by M.F. Kabir.
- De Cicco, F.L. and Willhuber, G.C. (2019) 'Nucleus pulposus herniation', in *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Colakoglu, B. and Alis, D. (2019) 'Evaluation of lumbar multifidus muscle in patients with lumbar disc herniation: are complex quantitative MRI measurements needed?', *Journal of International Medical Research*.
- Cookson, M. and Stirk, P. (2019) 'Management of physiotherapy in the case of lumbal hernia nucleus pulposus 3–5 and sacrum 1 in Sukoharjo Hospital'.
- Cooley, J.R. *et al.* (2023) 'Lumbar multifidus muscle morphology is associated with low back-related pain duration, disability, and leg pain: A cross-sectional study in secondary care', *PLoS ONE*.
- Court, C., Mansour, E. and Bouthors, C. (2018) 'Thoracic disc herniation: Surgical treatment', *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*.
- Creze, M. *et al.* (2023) 'Understanding a mass in the paraspinal region: an anatomical approach.', *Insights into imaging*.
- Demirel, G. *et al.* (2023) 'Investigation of the Relationship Between Multifidus Muscle and Lumbar Disc Herniation Through Magnetic Resonance Imaging', *BAU Health and Innovation*.
- Demirel, G. (2024) 'Investigation of the Relationship Between Multifidus Muscle and Lumbar Disc Herniation Through Magnetic Resonance Imaging', *BAU*

Health and Innovation.

- DeSai, C., Reddy, V. and Agarwal, A. (2025) *Anatomy, Back, Vertebral Column, StatPearls*.
- Desyauri, R., Aritonang, F.H. and Simanjuntak, C.A. (2021) 'Indeks massa tubuh (IMT) sebagai faktor risiko pada kecurigaan hernia nukleus pulposus (HNP) lumbal', *Journal of Medical Studies*.
- Donnally III, C.J. and Dulebohn, S.C. (2017) 'Lumbar degenerative disk disease', in *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Drazin, D. *et al.* (2015) 'The role of sacral slope in lumbosacral fusion: a biomechanical study', *Journal of Neurosurgery: Spine*.
- Dydyk, A.M., Ngnitewe Massa, R. and Mesfin, F.B. (2023) 'Disc Herniation', in *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Ekin, E.E., Kurtul Yıldız, H. and Mutlu, H. (2016) 'Age and sex-based distribution of lumbar multifidus muscle atrophy and coexistence of disc hernia: an MRI study of 2028 patients.', *Diagnostic and interventional radiology (Ankara, Turkey)*.
- Elfadle, A.A. *et al.* (2022) 'Correlation between lumbar spinal canal magnetic resonance imaging grading systems and parameters in lumbar spinal canal compromise', *Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery*.
- Fardon, D.F. and Milette, P.C. (2001) 'Nomenclature and classification of lumbar disc pathology: Recommendations of the combined task forces of the North American Spine Society, American Society of Spine Radiology, and American Society of Neuroradiology', *Spine*.
- Faur, C. *et al.* (2019) 'Correlation between multifidus fatty atrophy and lumbar disc degeneration in low back pain', *BMC Musculoskeletal Disorders*.
- Finkenstaedt (2017) *The Radiology Assistant, The Radiology Assistant*.
- Fitriyani, F. and Putri, S.M. (2024) 'Hernia Nukleus Pulposus Lumbal: Sebuah Laporan Kasus', *Medical Profession Journal of Lampung*.
- Fjeld, O.R. *et al.* (2019) 'Complications, reoperations, readmissions, and length of hospital stay in 34 639 surgical cases of lumbar disc herniation', *The Bone & Joint Journal*.
- Franco, L., De Cicco, A. and Camino Willhuber, G.O. (2023) 'Nucleus Pulposus Herniation', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.

- Frapin, L. *et al.* (2019) 'Lessons learned from intervertebral disc pathophysiology to guide rational design of sequential delivery systems for therapeutic biological factors', *Advanced Drug Delivery Reviews*.
- Frostell, A. *et al.* (2016) 'A Review of the Segmental Diameter of the Healthy Human Spinal Cord.', *Frontiers in neurology*.
- Ganapathy, M.K., Reddy, V. and Tadi, P. (2025) *Neuroanatomy, Spinal Cord Morphology, StatPearls*.
- Gautam, D. (2023) *Herniated Nucleus Pulposus, Medscape*.
- Geng, J. *et al.* (2021) 'The Association of Lumbar Disc Herniation with Lumbar Volumetric Bone Mineral Density in a Cross-Sectional Chinese Study', *Diagnostics*.
- Gofur, E.M. and Singh, P. (2023) 'Anatomy, Back, Vertebral Canal Blood Supply', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Hall, J.A. *et al.* (2019) 'Systematic Review of Decision Analytic Modelling in Economic Evaluations of Low Back Pain and Sciatica.', *Applied health economics and health policy*.
- Hatlah, N.N., Fatmawati, V. and Diniyah, K. (2021) 'Faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Hernia Nukleus Pulposus (HNP): Narrative Review', *Kesehatan RI*.
- Hincapié, C.A. *et al.* (2025) 'Incidence of and risk factors for lumbar disc herniation with radiculopathy in adults: a systematic review', *European Spine Journal*.
- Hodges, P.W. and Danneels, L. (2019) 'Changes in Structure and Function of the Back Muscles in Low Back Pain: Different Time Points, Observations, and Mechanisms', *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*.
- Hoffeld, K. *et al.* (2023) 'Patient-related risk factors and lifestyle factors for lumbar degenerative disc disease: a systematic review', *Neurochirurgie*.
- Ilyas, M., Rauf, R. and Alfian Zainuddin, A. (2024) 'Korelasi Derajat Degeneratif Dan Herniasi Diskus Intervertebralis Dengan Derajat Infiltrasi Lemak Muskulus Multifidus Lumbalis Pada Pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging Pasien Nyeri Punggung Bawah', *Maret*.
- Instalasi Rekam Medis RSUD Dr. H. Abdul Moeloek (2025) 'Prasurvei Penelitian'.
- Kader, D., Wardlaw, D. and Smith, F. (2000) 'Correlation between the MRI changes in the lumbar multifidus muscles and leg pain', *Clinical Radiology*.

- Kaliya-Perumal, A.-K. *et al.* (2018) 'Revalidating Pfirrmann's Magnetic Resonance Image-Based Grading of Lumbar Nerve Root Compromise by Calculating Reliability among Orthopaedic Residents', *Clinics in Orthopedic Surgery*.
- Kim, Y.-K. *et al.* (2018) 'Differences in the Incidence of Symptomatic Cervical and Lumbar Disc Herniation According to Age, Sex and National Health Insurance Eligibility: A Pilot Study on the Disease's Association with Work.', *International journal of environmental research and public health*.
- Kögl, N. *et al.* (2024) 'Lumbar disc herniation', *Deutsches Ärzteblatt international*.
- Lee, S.H. *et al.* (2017) 'The fatty degeneration of lumbar paraspinal muscles on computed tomography scan according to age and disc level.', *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*.
- Liebenberg (2020) 'My Spine Explained'.
- Liu, C. *et al.* (2021) 'Is there a correlation between upper lumbar disc herniation and multifidus muscle degeneration? A retrospective study of MRI morphology', *BMC Musculoskeletal Disorders*.
- Liu, S. *et al.* (2024) 'Inter-software and inter-threshold reliability of quantitative paraspinal muscle segmentation', *European Spine Journal*.
- Longatti, P. *et al.* (2022) 'Where the central canal begins: endoscopic in vivo description.', *Journal of neurosurgery*.
- Lou, C. *et al.* (2017) 'Association between menopause and lumbar disc degeneration: an MRI study of 1,566 women and 1,382 men.', *Menopause (New York, N.Y.)*.
- Mahadevan, V. (2018) 'Anatomy of the vertebral column', *Surgery (Oxford)*.
- Mahfira, S. and Utami, T.N. (2021) *Hubungan Sikap Kerja dengan Keluhan Nyeri Punggung Bawah pada Penenun di Kabupaten Batubara*. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Malik, D.M. (2023) *Perbandingan Gambaran MRI dari Perubahan Patologis Elemen Collumna Vertebralis pada Fraktur Vertebra Metastasis dan Fraktur Vertebra Infeksi*. Skripsi. Universitas Hasanuddin.
- Margetis, K., Das, J. and Emmady, P. (2025) 'Spinal Cord Injuries', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Mayo, C. (2016) *Herniated Disk*, Mayo Foundation for Medical Education and Research (MFMER).

- Michael, M.G. *et al.* (2021) 'Benzel's Spine Surgery: Techniques, Complication Avoidance and Management', in. Amsterdam: Elsevier Health Sciences.
- Minassian, K. *et al.* (2017) 'The Human Central Pattern Generator for Locomotion: Does It Exist and Contribute to Walking?', *The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*.
- Naghdi, N. *et al.* (2025) 'Ultrasound and MRI-based evaluation of relationships between morphological and mechanical properties of the lower lumbar multifidus muscle in chronic low back pain', *European Spine Journal*.
- Nail-Ulloa, I. *et al.* (2024) 'Estimating Compressive and Shear Forces at L5-S1: Exploring the Effects of Load Weight, Asymmetry, and Height Using Optical and Inertial Motion Capture Systems.', *Sensors (Basel, Switzerland)*/
- Narayanan, R. *et al.* (2024) 'Which North American spine society disc herniation morphology descriptors are most associated with improvements in clinical outcomes after microdiscectomy?', *North American Spine Society Journal (NASSJ)*.
- Nasikhatussoraya, N., Octaviani, R. V and Julianti, H.P. (2016) 'Hubungan intensitas nyeri dan disabilitas aktivitas sehari-hari dengan kualitas hidup: Studi pada pasien hernia nukleus pulposus (HNP) lumbal', *Jurnal Kedokteran Diponegoro (Diponegoro Medical Journal)*.
- Nehru, A.P. *et al.* (2023) 'Intervertebral disc degeneration and vertebral end plate damage in acute lumbar disc herniation', *Indian Spine Journal*
- Netter, F.H. (2019) *Atlas of Human Anatomy*. 7th edn. Philadelphia: Elsevier.
- Ozer, F.F. and Güler, E. (2024) 'Relation of bone mineral density with fat infiltration of paraspinal muscles: The Goutallier classification.', *Osteoporosis and sarcopenia*
- Park, C.-K., Lee, H.-J. and Ryu, K.-S. (2017) 'Comparison of Root Images between Post-Myelographic Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging in Patients with Lumbar Radiculopathy.', *Journal of Korean Neurosurgical Society*.
- Perhimpunan Dokter Spesialis Saraf Indonesia (2016) *Panduan Praktik Klinis Neurologi*. Jakarta: Perhimpunan Dokter Spesialis Saraf Indonesia.
- Pfirschmann, C.W.A. *et al.* (2004) 'Image-based grading of lumbar nerve root compromise due to disc herniation: Reliability study with surgical correlation', *Radiology*.

- Priyadarshani, P., Li, Y. and Yao, L. (2016) 'Advances in biological therapy for nucleus pulposus regeneration', *Osteoarthritis and Cartilage*.
- Priyanto, B. and Wardhana, D.P.W. (2023) *Dasar-Dasar Ilmu Bedah Saraf*. Jakarta: Penerbit Salemba.
- Qaseem, A. *et al.* (2017) 'Noninvasive Treatments for Acute, Subacute, and Chronic Low Back Pain: A Clinical Practice Guideline From the American College of Physicians', *Annals of Internal Medicine*.
- Rostini, B (2014) *Hubungan Antara Derajat Hnp Dengan Derajat Atrofi Muskulus Multifidus Lumbal Berdasarkan Gambaran Mri Lumbosakral Pada Penderita Nyeri Punggung Bawah Kronik The*. Universitas Hasanuddin.
- Rubin, M. (2016) *Overview of Peripheral Nervous System Disorders, MSD Manual: Professional Version*.
- Rusmayanti, M.Y. and Kurniawan, S.N. (2023) 'HNP lumbalis', *Journal of Pain, Headache and Vertigo*.
- Sarrami, P. *et al.* (2017) 'Factors predicting outcome in whiplash injury: a systematic meta-review of prognostic factors.', *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the Italian Society of Orthopaedics and Traumatology*.
- Sasaki, T. *et al.* (2017) 'MRI-defined paraspinal muscle morphology in Japanese population: The Wakayama Spine Study.', *PloS one*.
- Schroeder, G. (2016) 'The epidemiology and pathophysiology of lumbar disc herniation', in *Seminar on Spine Surgery*.
- Siburian, Y.R. (2018) *Optimasi Kualitas Citra dan Dosis Radiasi pada Pemeriksaan Lumbosacral Menggunakan Computed Radiography*. Universitas Sumatera Utara.
- Sun, B.-L. *et al.* (2024) 'Prevalence of lumbar disc herniation in populations with different symptoms based on magnetic resonance imaging study', *Journal of Clinical Neuroscience*.
- Sun, D. *et al.* (2017) 'Correlation between intervertebral disc degeneration, paraspinal muscle atrophy, and lumbar facet joints degeneration in patients with lumbar disc herniation', *BMC Musculoskeletal Disorders*.
- Suo, M. *et al.* (2023) 'The association between morphological characteristics of paraspinal muscle and spinal disorders', *Annals of Medicine*.

- Sutton, D. (1993) 'Neuroradiology of the Spine', in D. Sutton (ed.) *A Textbook of Radiology and Imaging*. 5th edn. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Tian, G. *et al.* (2023) 'Correlation of multifidus degeneration with sex, age and side of herniation in patients with lumbar disc herniation', *BMC Musculoskeletal Disorders*.
- Tieppo Francio, V. *et al.* (2023) 'Multifidus dysfunction and restorative neurostimulation: a scoping review', *Pain Medicine*.
- de Vries, M.H.E. *et al.* (2025) 'Physiological Ageing of the Lumbar Intervertebral Disc Based on Magnetic Resonance Imaging, a Systematic Literature Review', *Medicina*.
- Wairisal, A. V. (2021) *Hubungan Indeks Massa Tubuh dengan Kejadian Hernia Nukleus Pulposus Lumbal pada Pasien Low Back Pain di RSU UKI Periode Januari–Juni 2020*. Tesis. Universitas Kristen Indonesia.
- Wang, L.Q. (2024) 'Exploring the relationship between the degree of fatty infiltration of multifidus muscle and the maximum compression degree of lumbar spinal canal in patients with lumbar disc herniation', *Journal of Clinical Images and Medical Case Reports*.
- Wang, X. *et al.* (2021) 'Research progress on the mechanism of lumbar multifidus injury and degeneration', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*.
- Waschke, J. and Paulsen, F. (eds) (2018) *Sobotta Tables of Muscles, Joints and Nerves*. 24th editi. Elsevier Health Sciences.
- Waxenbaum, J.A. *et al.* (2023) 'Anatomy, Back, Cervical Vertebrae', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Waxenbaum, J.A. *et al.* (2025) *Anatomy, Back, Lumbar Vertebrae*, *StatPearls*.
- Weng, R. *et al.* (2025) 'Investigating biomechanical differences in lumbosacral transitional vertebrae among different Castellvi classifications', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*.
- Zavras, A.G. *et al.* (2022) 'P138. Preoperative multifidus muscle quality is associated with patient-reported outcomes after lateral lumbar interbody fusion', *The Spine Journal*.
- Zhang, C. *et al.* (2025) 'Correlation and risk factor analysis of multifidus muscle atrophy in degenerative lumbar spondylolisthesis', *Frontiers in Medicine*.