

Edukasi *Low Back Pain Myogenic* dengan Pendekatan *William Flexion Exercise* pada Lansia di Posyandu Menur, Kelurahan Mojolangu

¹Agustin Putri Adhyani, ¹Rakhmad Rosadi, ²Eleonora Elsa Sucahyo

¹Program Studi Profesi Fisioterapi, Universitas Muhammadiyah Malang, Kota Malang, Indonesia

²UPT Puskesmas Mojolangu, Malang, Indonesia

*Corresponding Author

Jl. Raya Tlogomas No.246 Malang, Jawa Timur, 0341 463513

E-mail: agustinputriadhyani17@gmail.com

Received:
7 May 2026

Revised:
20 July 2026

Accepted:
25 August 2026

Published:
30 September 2026

How to cite (APA 7th style): Adhyani, A. P., Rosadi, R., & Sucahyo, E. E. (2026). Edukasi Low Back Pain Myogenic dengan Pendekatan William Flexion Exercise pada Lansia di Posyandu Menur, Kelurahan Mojolangu. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Kedokteran*, 5(3), 132-139
<https://doi.org/10.61251/abdmasku.5.3.132-139>

Abstrak

Low Back Pain (LBP) merupakan salah satu masalah muskuloskeletal yang sering dirasakan oleh lansia sebagai akibat dari proses degenerasi dan penurunan kemampuan sistem gerak, yang berpengaruh pada terbatasnya aktivitas sehari-hari. Kondisi ini memerlukan upaya penanganan yang tidak hanya bersifat kuratif, tetapi juga promotif dan preventif di tingkat komunitas. Program pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman para lansia tentang LBP *myogenic* melalui edukasi kesehatan dan pemberian *William Flexion Exercise*. Kegiatan dilaksanakan di Posyandu Menur RW XI, Kelurahan Mojolangu, Kota Malang. Metode pelaksanaan meliputi observasi keluhan nyeri, pengukuran intensitas nyeri menggunakan *Numeric Rating Scale* (NRS), pemberian edukasi kesehatan menggunakan media leaflet, diskusi yang melibatkan interaksi, serta penilaian melalui *pre-test* dan *post-test*. Hasil evaluasi kegiatan menunjukkan bahwa 4 dari 8 lansia mengalami keluhan LBP dengan intensitas nyeri sedang. Selain itu, terjadi peningkatan pengetahuan yang signifikan pada seluruh indikator, dari tingkat pemahaman awal yang rendah pada *pre-test* hingga mencapai 100% pada *post-test*. Kesimpulannya, edukasi tentang kesehatan dan pelaksanaan *Williams Flexion Exercise* berjalan sukses dan memenuhi sasaran yang ditetapkan. Diharapkan bahwa latihan yang telah diberikan bisa dilakukan rutin untuk membantu meredakan rasa sakit pada bagian punggung bawah.

Kata kunci: edukasi; lansia; LBP; William Flexion Exercise

Abstract

Low Back Pain (LBP) is one of the musculoskeletal problems commonly experienced by older adults due to degenerative processes and decreased musculoskeletal function, which can limit daily activities. This condition requires management efforts that are not only curative but also promotive and preventive at the community level. This community service program aimed to improve older adults' understanding of myogenic LBP through health education and the implementation of Williams Flexion Exercise. The activity was conducted at Posyandu Menur RW XI, Mojolangu Village, Malang City. The methods included observation of pain complaints, measurement of pain intensity using the Numeric Rating Scale (NRS), health education using leaflets, interactive discussions, and evaluation through pre-test and post-test assessments. The evaluation results indicated that 4 of the 8 elderly participants reported low back pain (LBP).



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

© 2026 Authors

complaints with moderate pain intensity. In addition, there was a significant increase in knowledge across all indicators, from a low level of understanding in the pre-test to 100% achievement in the post-test. In conclusion, health education and the implementation of Williams Flexion Exercise were carried out successfully and achieved the intended objectives. It is expected that the exercises provided can be performed routinely to help reduce lower back pain.

Keywords: education; elderly; low back pain; William Flexion Exercise

PENDAHULUAN

Lansia merupakan fase akhir dalam siklus kehidupan manusia yang berlangsung secara alami dan tidak dapat dihindari. Seiring dengan bertambahnya usia, individu mengalami berbagai perubahan yang meliputi aspek fisik, biologis, fisiologis, psikologis, dan sosial. Perubahan tersebut merupakan bagian dari proses penuaan yang dapat menyebabkan penurunan fungsi tubuh, berkurangnya kemampuan adaptasi terhadap lingkungan, serta meningkatnya risiko mengalami berbagai masalah kesehatan pada usia lanjut (Sudharmono *et al.*, 2024). Menurut *World Health Organization* (WHO), individu yang tergolong lansia dibagi menjadi beberapa kategori usia, yaitu usia paruh baya (*middle age*) 45–59 tahun, lansia (*elderly*) 60–74 tahun, lansia tua (*old*) 75–90 tahun, dan usia sangat tua (*very old*) yang berusia di atas 90 tahun (Wijoyo & Daulima, 2020).

Proses penuaan memicu perubahan fisiologis, seperti penurunan massa otot, melambatnya metabolisme, serta menurunnya efisiensi sistem kardiovaskular. Kondisi ini berpengaruh terhadap kemampuan fungsional lansia, termasuk meningkatnya rasa lelah, keterbatasan gerak, serta penurunan fleksibilitas. Selain itu, penurunan fungsi muskuloskeletal juga meningkatkan risiko terjadinya cedera dan gangguan Kesehatan (Wahid *et al.*, 2023).

Menurut Kemenkes, *Low Back Pain* (LBP) merupakan salah satu masalah kesehatan yang sering dialami, dengan diperkirakan sekitar 60–80% orang di dunia pernah mengalaminya setidaknya sekali dalam hidup (Wulidatullayli *et al.*, 2025). Prevalensi LBP pada lansia cukup tinggi, khususnya di kalangan mereka yang berusia lebih dari 60 tahun dan kondisi ini dapat berakibat pada penurunan kemampuan untuk menjalankan kegiatan sehari-hari. Angka kejadian LBP cenderung meningkat sejalan dengan bertambahnya usia dan titik tertinggi pada kelompok usia 60–65 tahun, di mana wanita dilaporkan lebih sering mengalami nyeri punggung rendah dibandingkan pria (Wahid *et al.*, 2023).

LBP *myogenic* merupakan nyeri punggung bawah yang berkaitan dengan gangguan pada jaringan otot, tendon, maupun ligamen di area punggung bawah. Kondisi ini umumnya disebabkan oleh aktivitas berlebihan, postur tubuh yang tidak sesuai dengan ergonomi, serta kebiasaan untuk duduk atau berdiri terlalu lama. Selain itu, postur tubuh yang kurang baik dan aktivitas statis dalam waktu lama dapat menyebabkan ketegangan otot, kekakuan sendi, serta nyeri punggung bawah yang mengganggu aktivitas fungsional (Ayu *et al.*, 2026; Sari *et al.*, 2019).

Meskipun LBP merupakan masalah yang umum terjadi pada lansia, penatalaksanaannya tidak hanya memerlukan pengurangan nyeri, tetapi juga edukasi mengenai pengelolaan kondisi secara mandiri. Kurangnya pemahaman mengenai cara mengelola LBP dapat menjadi salah satu hambatan dalam melakukan *self-management*, sehingga edukasi kesehatan diperlukan untuk meningkatkan pengetahuan dan kemampuan lansia dalam menangani keluhanannya. Penelitian

menunjukkan bahwa edukasi pada lansia dengan LBP dapat mencakup edukasi kesehatan, *self-management*, edukasi postural, dan edukasi melalui video, serta dapat memberikan dampak positif terhadap nyeri, disabilitas, dan kualitas hidup (Zahari *et al.*, 2020).

Salah satu metode fisioterapi yang bisa diterapkan adalah *William Flexion Exercise*. Latihan ini dirancang untuk mengurangi tekanan pada bagian belakang tulang belakang dan menyeimbangkan fungsi otot fleksor dan ekstensor postural (Sari *et al.*, 2019). *William Flexion Exercise* dapat dilakukan mandiri di rumah dan relatif mudah dilakukan. Apabila rutin dilakukan, latihan ini dapat membantu meningkatkan kekuatan otot, mengurangi kekakuan, serta menurunkan intensitas nyeri.

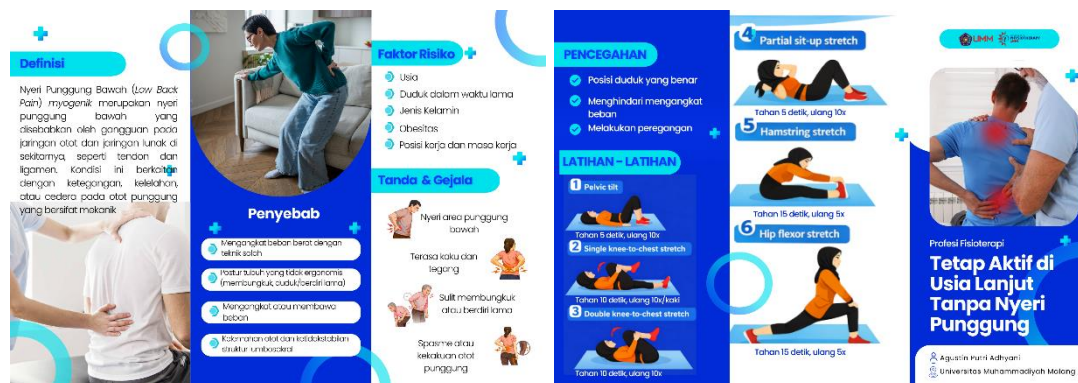
Pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat dilakukan di Posyandu Lansia Menur, RW XI, Kelurahan Mojolangu, Kota Malang. Kegiatan Posyandu Lansia meliputi pengukuran antropometri, pemeriksaan kadar glukosa, kolesterol, dan asam urat (GCU), serta senam lansia. Dari 12 lansia yang mengikuti kegiatan, 8 lansia mengalami LBP. Dalam mengatasi keluhan tersebut, lansia umumnya hanya mengonsumsi obat dan mengurangi aktivitas. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya edukasi mengenai penanganan LBP secara tepat, khususnya melalui pendekatan nonfarmakologis dan latihan. Oleh karena itu, kegiatan ini dilakukan melalui edukasi dan *William Flexion Exercise* untuk membantu meningkatkan pemahaman serta kemampuan lansia dalam menangani keluhan LBP *myogenic*.

METODE

Kegiatan dilaksanakan di Posyandu Menur RW XI, Jl. Borobudur Agung Timur VI, Kelurahan Mojolangu, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, dengan jumlah partisipan sebanyak 12 lansia. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilakukan melalui pemberian edukasi kepada lansia mengenai LBP *myogenic* dengan menggunakan media promosi kesehatan berupa leaflet. Kegiatan ini diawali dengan identifikasi permasalahan melalui observasi keluhan LBP serta pengukuran tingkat nyeri menggunakan *Numeric Rating Scale* (NRS) dengan rentang skala 0–10. Materi yang diberikan meliputi pengertian, penyebab, tanda dan gejala, pencegahan, serta *William Flexion Exercise*. *Pre-test* dan *post-test* digunakan dalam pengambilan data untuk menilai efektivitas edukasi yang diberikan serta mengetahui tingkat pemahaman lansia sebelum dan sesudah kegiatan dilaksanakan.



Gambar 1. Posyandu Menur RW XI,
Jl. Borobudur Agung Timur VI



Gambar 2. Leaflet media promosi kesehatan

William Flexion Exercise adalah aktivitas fisik yang digunakan sebagai salah satu jenis latihan non-farmakologis untuk mengurangi nyeri punggung bawah. Latihan ini difokuskan pada penguatan otot *fleksor* di area *lumbosakral*, khususnya otot *abdominal* dan *gluteus maximus* (Rosadi et al., 2023). Pemberian latihan ini bertujuan untuk menurunkan spasme otot, mencegah kekakuan sendi intervertebralis, serta mengurangi beban kompresi pada sendi faset. Selain itu, *William Flexion Exercise* juga berperan dalam meningkatkan aliran darah kapiler dan merangsang hormon endorfin yang berkontribusi pada pengurangan nyeri dan peningkatan kenyamanan gerak (Ayu et al., 2026; Maysaroh et al., 2021).

William Flexion Exercise terdiri dari beberapa gerakan, seperti *single knee to chest*, *double knee to chest*, *pelvic tilting*, *partial sit-up*, *hamstring stretching*, dan *hip flexor stretching*. Rangkaian latihan ini berperan dalam memperkuat otot-otot penopang lumbal, seperti otot *abdominal*, *gluteus maximus*, dan *hamstring*, sehingga meningkatkan kenyamanan bergerak dan kemampuan aktivitas fungsional sehari-hari (Anung et al., 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan edukasi fisioterapi mengenai LBP pada lansia dilaksanakan pada tanggal 16 April 2026 di Posyandu Menur RW XI, Jl. Borobudur Agung Timur VI, Kelurahan Mojolangu, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang.



Gambar 3. Proses Edukasi Kesehatan

Sebelum pelaksanaan edukasi dilakukan *pre-test* untuk mengukur tingkat pengetahuan awal lansia mengenai LBP *myogenic*, meliputi pengertian, tanda dan gejala, penyebab, serta upaya pencegahan, serta *William Flexion Exercise*. Setelah

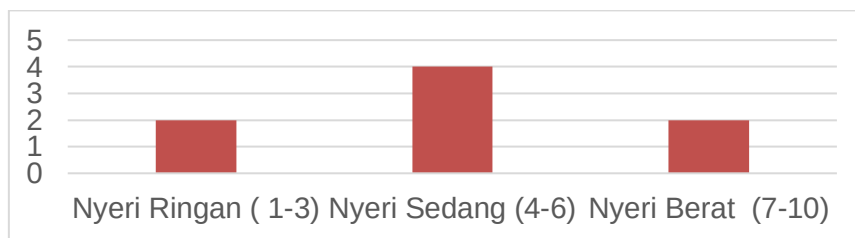
penyampaian materi, kegiatan dilanjutkan dengan pemberian contoh *William Flexion Exercise* sebagai upaya untuk membantu mengurangi keluhan nyeri. Pemberian latihan ini didukung oleh penelitian Amila *et al.* (2021), yang menunjukkan adanya penurunan intensitas nyeri yang signifikan pada lansia dengan LBP setelah intervensi, dengan nilai $p=0,000$. Penelitian Hanik *et al.* (2024) juga menunjukkan perubahan tingkat nyeri setelah pemberian latihan, yaitu dari 57,6% lansia yang mengalami nyeri berat sebelum intervensi menjadi 81,8% lansia yang mengalami nyeri ringan setelah intervensi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *William Flexion Exercise* dapat menjadi salah satu pilihan latihan untuk membantu mengurangi nyeri pada lansia dengan LBP.

Tabel 1.
Karakteristik Partisipan

Karakteristik	Frekuensi	%
Jenis Kelamin		
Perempuan	11	91,70%
Laki-laki	1	8,30%
Usia		
Lanjut usia (<i>elderly</i>)	8	66,67%
Lanjut usia tua (<i>old</i>)	4	33,33%
Usia Sangat Tua	0	0,00%
Total	12	100,00%

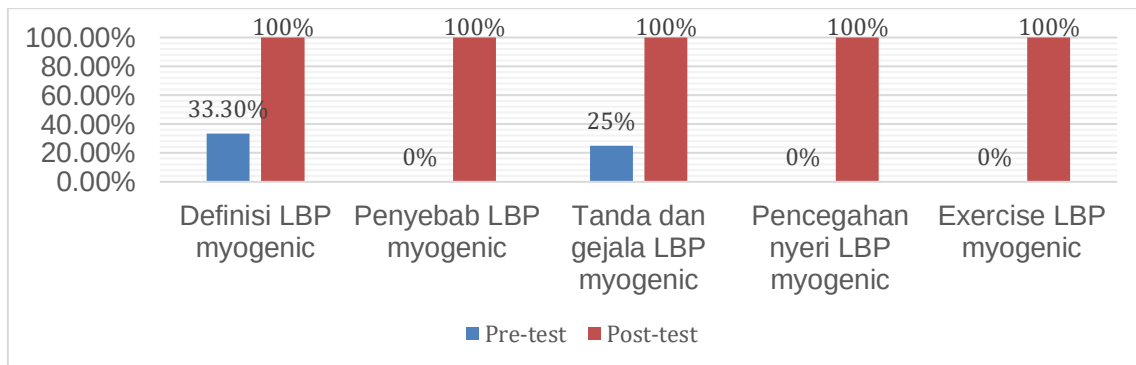
Kegiatan pengabdian masyarakat ini diikuti oleh 12 partisipan lansia. Berdasarkan jenis kelamin, mayoritas peserta merupakan perempuan sebanyak 11 orang (91,70%), sementara laki-laki hanya 1 orang (8,30%). Berdasarkan kelompok usia, mayoritas peserta berada pada rentang usia 60–74 tahun dengan jumlah 8 orang (66,67%), sedangkan usia 75–90 tahun sebanyak 4 orang (33,33%). Tidak ditemukan peserta dengan kategori usia sangat tua di atas 90 tahun. Hasil observasi dan pengukuran menunjukkan bahwa 8 lansia (66,7%) mengalami keluhan nyeri punggung bawah, sedangkan 4 lansia lainnya (33,3%) tidak memiliki keluhan tersebut.

Mayoritas partisipan lanjut usia menunjukkan bahwa penambahan usia berperan penting terhadap meningkatnya risiko LBP *myogenic* yang berkaitan dengan penurunan fungsi sensorik dan motorik otot sehingga kemampuan otot dalam menopang dan menstabilkan tulang belakang menjadi berkurang (Raymond Oskar *et al.*, 2024). Selain faktor usia, tingginya jumlah partisipan perempuan juga sejalan dengan teori yang menyatakan bahwa wanita memiliki kerentanan lebih tinggi terhadap nyeri muskuloskeletal. Hal ini berkaitan dengan fluktuasi hormonal selama siklus menstruasi serta penurunan kadar estrogen pada masa menopause, yang dapat berdampak pada penurunan kepadatan tulang dan peningkatan risiko terjadinya nyeri punggung bawah (Sahara & R P, 2020). Selanjutnya, aktivitas ibu rumah tangga sering melibatkan gerakan berulang dan beban fisik yang dapat menimbulkan ketegangan pada otot punggung, sehingga meningkatkan risiko terjadinya LBP *myogenic* (Safei *et al.*, 2024).



Gambar 4. Distribusi Intensitas Nyeri

Hasil pengukuran intensitas nyeri menunjukkan bahwa dari 8 lansia, sebanyak 2 lansia (25%) mengalami nyeri ringan, 4 lansia (50%) mengalami nyeri sedang, dan 2 lansia (25%) mengalami nyeri berat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa intensitas nyeri sedang merupakan keluhan yang paling banyak ditemukan pada lansia dengan LBP, yang berkaitan dengan proses degeneratif dan penurunan fungsi musculoskeletal (Safei *et al.*, 2024).



Gambar 5. Evaluasi Pemahaman Partisipan Sebelum dan Sesudah Edukasi

Keberhasilan kegiatan dievaluasi melalui perbandingan hasil pre-test dan post-test dengan indikator penilaian meliputi pemahaman tentang definisi, penyebab, tanda dan gejala, pencegahan, serta exercise terkait LBP myogenic. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan pengetahuan pada setiap indikator. Pemahaman mengenai definisi bertambah dari 33% menjadi 100%, sedangkan pemahaman tentang tanda dan gejala menunjukkan perubahan dari 25% menjadi 100%. Sementara itu, pada indikator penyebab, pencegahan, dan exercise yang sebelumnya berada pada angka 0% mengalami peningkatan signifikan hingga mencapai 100% pada post-test.

Selain pemberian materi, keterlibatan aktif partisipan dalam sesi diskusi dan praktik latihan juga berperan dalam meningkatkan pemahaman. Pendekatan edukasi yang interaktif memungkinkan lansia untuk lebih mudah memahami materi serta mengaplikasikan latihan secara mandiri. Dengan meningkatnya pengetahuan dan keterampilan, lansia diharapkan mampu melakukan upaya pencegahan dan penanganan LBP secara mandiri sehingga dapat mempertahankan kemampuan fungsional dan kualitas hidup.

KESIMPULAN

Edukasi mengenai LBP *myogenic* pada lansia di Posyandu Menur RW XI, Kelurahan Mojolangu, Kota Malang, menunjukkan bahwa pemberian edukasi disertai leaflet dan

diskusi interaktif dapat meningkatkan pemahaman partisipan lansia mengenai LBP, pencegahan, serta latihan yang dapat dilakukan secara mandiri. Selain meningkatkan pemahaman, kegiatan ini juga memberikan pengenalan terhadap *William Flexion Exercise* sebagai salah satu latihan yang dapat diterapkan secara mandiri untuk membantu menjaga fungsi gerak dan mengurangi keluhan nyeri punggung bawah. Oleh karena itu, disarankan agar kegiatan Posyandu Menur RW XI dapat melanjutkan kegiatan *William Flexion Exercise* secara bersama-sama dan rutin sebagai bentuk tindak lanjut edukasi serta upaya mempertahankan kemampuan fungsional lansia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat ini. Penghargaan disampaikan kepada CI, dosen pembimbing, kader, penanggung jawab Posyandu UPT Puskesmas Mojolangu, serta para lansia peserta Posyandu Menur RW XI atas partisipasi dan kerja samanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amila, A., Syapitri, H., & Sembiring, E. (2021). The Effect of William Flexion Exercise on Reducing Pain Intensity for Elderly with Low Back Pain. *International Journal of Nursing and Health Services (IJNHS)*, 4(1), 28–36. <https://doi.org/10.35654/IJNHS.V4I1.374>
- Anung, Z. L., Kusumaningtyas, M., & Windiastoni, Y. H. (2023). Effect of Additional William Flexion Exercise on Functional Ability in Myogenic Low Back Pain Patients. *Jurnal Bahana Kesehatan Masyarakat (Bahana of Journal Public Health)*, 7(2), 82–88. <https://doi.org/10.35910/JBKM.V7I2.609>
- Ayu, N. P., Harared, I., & Yesi, A. (2026). William Flexion Exercise Dan Infra Red Pada Low Back Pain Myogenic. *Jurnal Masyarakat Madani Indonesia*, 5(1), 234–239. <https://doi.org/10.59025/T1EF5313>
- Hanik, U., Lasman, Nurhidayati, & Sukanto. (2024). Pengaruh Latihan Fleksi William Terhadap Tingkat Nyeri Punggung Bawah Pada Lansia Di Unit Pelayanan Terpadu Sosial Tresna Werdha Blitar Di Kabupaten Tulungagung. *Journal of Medical and Health Science*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.21070/ANAMNETIC.V1I3.1594>
- Maysaroh, I., Israwan, W., Zakaria, A., & Hargiani, F. X. (2021). Penurunan Nyeri dengan Pemberian William Flexion Exercise pada Pasien Low Back Pain Myogenik di RSUD Mardi Waluyo Kota Blitar. *Jurnal Penelitian Kesehatan "SUARA FORIKES" (Journal of Health Research "Forikes Voice")*, 12(0), 168–171. <https://doi.org/10.33846/sf12nk337>
- Raymond Oskar, Achmad Banu Mustofa, Adam Samudra Humaidy, Abdul Rahmat Amin Mayu, Dinda Camela Damayanti, Faiqatul Qari'ah, Nadya Setyarini Farizka, & Bayu Prastowo. (2024). Edukasi Low Back Pain Myogenic pada Komunitas Lansia Wonorejo, Malang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Multi Disiplin*, 1(2), 45–51. <https://doi.org/10.70134/JUPENGGEN.V1I2.179>
- Rosadi, R., Rabecha Rachel, S., Hasta Baruna, A., Sunaringsih, S., & Wardoyo, I. (2023). Analisis Hubungan Durasi dan Posisi Duduk Terhadap Resiko Low Back Pain pada Karyawan Puskesmas Dinoyo. *Jurnal Ilmiah Fisioterapi (JIF)*, 06(1), 12–16.
- Safei, I., Nadraini, M., Hidayati, P. H., Muchsin, A. H., & Surdam, Z. (2024). Prevalensi dan Gambaran Pasien Low Back Pain pada Lansia. *Fakumi Medical Journal: Jurnal Mahasiswa Kedokteran*, 4(4), 259–270. <https://doi.org/10.33096/FMJ.V4I4.443>

- Sahara, R., & R P, T. Y. (2020). Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Low Back Pain (LBP): Systematic Review. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 19(03), 92–99. <https://doi.org/10.33221/JIKES.V19I03.585>
- Sari, D. C., Ismaningsih, Zein, R. H., & Hayati, W. (2019). Edukasi Kasus Low Back Pain Myogenik Siswa dengan Modalitas Infrared dan William Flexion Exercise. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Multidisiplin*, 2(2), 82–94. <https://doi.org/10.36341/JPM.V2I2.688>
- Sudharmono, U., Sitompul, M., Malinti, E., & Sri Mei Wulandari, I. (2024). Edukasi Dan Pemberdayaan Lansia dalam Menjaga Kesehatan di Kelurahan Kacapiring, Kecamatan Batununggal Bandung. *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM)*, 7(3), 1221–1235. <https://doi.org/10.33024/JKPM.V7I3.13372>
- Wahid, M. A., Rahmanto, S., & Ayu Saputri P, H. (2023). Penyuluhan Fisioterapi Komunitas dalam Meningkatkan Pengetahuan Tentang Low Back Pain pada Posyandu Lansia Di Desa Wonokerso. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Multidisiplin*, 6(3), 300–306. <https://doi.org/10.36341/JPM.V6I3.3271>
- Wijoyo, E. B., & Daulima, N. H. C. (2020). Optimalisasi Integritas Diri Melalui Terapi Kelompok Teraupetik Lansia: Studi Kasus. *Jurnal JKFT*, 5(2), 26. <https://doi.org/10.31000/JKFT.V5I2.3919>
- Wulidatullayli, S., Ika Wardoyo, S. S., & Suharto, B. (2025). Peran Fisioterapi Dalam Penatalaksanaan Nyeri Punggung Bawah Pada Lansia di Posyandu Tulusrejo RW 03 Kota Malang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 3(8), 4103–4109. <https://doi.org/10.59837/JPMBA.V3I8.3215>
- Zahari, Z., Ishak, A., & Justine, M. (2020). The effectiveness of patient education in improving pain, disability and quality of life among older people with low back pain: A systematic review. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 33(2), 245–254. <https://doi.org/10.3233/BMR-181305;WGROU:STRING:PUBLICATION>

AI Disclosure

Generative artificial intelligence (AI) and AI-assisted technologies were used solely to improve the readability and organization of the manuscript. All outputs generated through these tools were carefully reviewed, edited, and validated by the author to ensure accuracy, completeness, and alignment with the study's original content. The author assumes full responsibility and accountability for the integrity of the work, including its analysis, interpretation, and conclusions. AI tools were not used for data generation, data analysis, or as a substitute for scholarly judgment, and are not listed as authors or co-authors of this study.

Conflict of Interest Statement: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2026 Author(s). This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.