e-ISSN: 2541-4542. DOI: http://dx.doi.org/10.35329/jkesmas.v12i2.7944

KNEE SUPPORT KHUSUS: SOLUSI UNTUK PASIEN NYERI OSTEOARTRITIS LUTUT

Alfan Zubaidi[1], Muh. Syaiful Akbar[2], Dody Suprayogi[1], Amaliah Amriani AS[2], Erona Wafaretta[2]

[1]Jurusan Ortotik Prostetik, Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Surakarta, Insonesia
[2]Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Article Info

Article history:
Received 10/09/2026.
Revised 19/10/2026
Accepted 31/10/2026

Keywords:
Knee osteoarthritis
Knee support
Knee pain
Orthosis

ABSTRACT

This study investigated changes in pain intensity following the use of a specially designed knee support among patients with knee osteoarthritis. A pre-experimental study using a single-group pretest-posttest design was conducted involving 50 patients receiving physiotherapy services in Karanganyar Regency, Indonesia. Pain intensity was assessed before and after the intervention using the Visual Analog Scale (VAS). The data were analyzed using the Wilcoxon signed-rank test. The mean pain score decreased from 4.40 ± 0.57 at baseline to 1.78 ± 0.58 following the intervention. All participants demonstrated a reduction in pain scores. The statistical analysis revealed a significant difference between pre-intervention and post-intervention measurements ($Z = -6.15$; $p < 0.001$). These findings suggest that the use of a specially designed knee support was associated with reduced pain intensity in patients with knee osteoarthritis. However, the lack of a control group limits the ability to establish a direct causal relationship between the intervention and the observed improvement. Therefore, this device may be considered a complementary non-pharmacological approach to knee osteoarthritis pain management.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan intensitas nyeri setelah penggunaan knee support yang dirancang khusus pada pasien osteoartritis lutut. Penelitian menggunakan desain pre-eksperimental dengan pendekatan *one-group pretest-posttest* yang melibatkan 50 pasien penerima layanan fisioterapi di Kabupaten Karanganyar, Indonesia. Intensitas nyeri diukur sebelum dan sesudah intervensi menggunakan *Visual Analog Scale* (VAS). Data dianalisis dengan uji Wilcoxon signed-rank. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata skor nyeri menurun dari 4,40 ± 0,57 sebelum intervensi menjadi 1,78 ± 0,58 setelah intervensi. Seluruh responden mengalami penurunan skor nyeri. Hasil analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna antara skor nyeri sebelum dan sesudah intervensi ($Z = -6{,}15$; $p < 0{,}001$). Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan knee support khusus berkaitan dengan penurunan intensitas nyeri pada pasien osteoartritis lutut. Namun, ketiadaan kelompok kontrol membatasi kemampuan penelitian untuk memastikan hubungan sebab-akibat secara langsung antara intervensi dan perbaikan yang diamati. Alat ini dapat dipertimbangkan sebagai salah satu pendekatan nonfarmakologis pendamping dalam penatalaksanaan nyeri akibat osteoartritis lutut.

Corresponding Author:

Muh. Syaiful Akbar
Univeristas Negeri Makassar
Parangtambun, Makassar
syaiful.akbar@unm.ac.id

1. PENDAHULUAN

Osteoartritis lutut menjadi salah satu penyakit muskuloskeletal kronis yang dapat menyebabkan nyeri, kekakuan, keterbatasan mobilitas, dan penurunan kualitas hidup. Berdasarkan estimasi Global Burden of Disease 2021, sekitar 374,7 juta orang di dunia mengalami osteoartritis lutut, dengan sekitar 30,8 juta kasus baru pada tahun yang sama [1–3]. Di Indonesia, jumlah kasus osteoartritis secara keseluruhan diperkirakan mencapai sekitar 9,6 juta pada tahun 2019, terdiri atas 5,5 juta perempuan dan 4,1 juta laki-laki [4].

Penatalaksanaan osteoartritis lutut umumnya mencakup pendekatan farmakologis dan nonfarmakologis. Meskipun obat dapat membantu mengendalikan gejala, kebutuhan terhadap intervensi nonfarmakologis tetap penting untuk mendukung fungsi dan kenyamanan pasien. Latihan fisik merupakan salah satu pendekatan yang dapat membantu mengurangi nyeri dan meningkatkan mobilitas, tetapi penerapannya perlu disesuaikan dengan kondisi dan kemampuan pasien [5,6]. Penanganan osteoartritis lutut juga dapat melibatkan intervensi pendamping yang memberikan dukungan mekanis pada sendi selama aktivitas. Salah satu alternatif tersebut adalah penggunaan *knee support* atau knee orthosis, yang dirancang untuk membantu stabilisasi lutut dan, pada jenis tertentu, mengatur distribusi beban pada sendi. Penggunaan *knee support* khusus perlu dikaji sebagai salah satu pilihan pendamping dalam pengelolaan nyeri osteoartritis lutut

Knee support atau *knee orthosis* dirancang untuk memberikan dukungan pada sendi lutut melalui mekanisme stabilisasi, kompresi, atau pengaturan distribusi beban. Beberapa jenis orthosis, seperti *unloader brace*, *patellofemoral brace*, dan *knee sleeve*, telah digunakan untuk membantu mengurangi nyeri, meningkatkan stabilitas, dan mendukung fungsi lutut. Namun, efektivitasnya tidak selalu konsisten karena perbedaan desain, mekanisme kerja, karakteristik pasien, dan metode pengukuran yang digunakan [1].

Bukti klinis menunjukkan bahwa penggunaan *knee brace* dapat memberikan manfaat pada kondisi tertentu. Dalam uji klinis *randomised crossover*, penggunaan *valgus knee brace* selama tiga bulan memberikan pengurangan nyeri dan *knee adduction moment* yang lebih baik dibandingkan *foot orthosis* pada pasien osteoartritis lutut medial [7]. Penelitian lain pada pengayuh becak di Surakarta juga melaporkan penurunan nyeri lutut setelah penggunaan *elastic knee decker* selama 20 hari [8]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penyangga lutut berpotensi menjadi intervensi nonfarmakologis yang bermanfaat, meskipun hasilnya belum dapat digeneralisasikan pada seluruh pasien osteoartritis lutut.

Penelitian mengenai desain *knee brace* menunjukkan bahwa penyesuaian ukuran, bahan, dan distribusi tekanan dapat memengaruhi kenyamanan penggunaan [9]. Pengembangan *flexible knee joint protector* juga diarahkan untuk mengurangi tekanan berlebih pada lutut [10]. Inovasi desain *knee orthosis* selanjutnya mencakup penyesuaian gerak berdasarkan data MRI [11], pengaturan distribusi beban melalui mekanisme empat titik tekan [12], serta penerapan mekanisme gerak biomimetik untuk mendukung fleksi-ekstensi lutut [13]. Selain itu, teknologi *smart knee brace* dapat digunakan untuk memantau gerakan lutut [14], sedangkan sistem *wearable* dikembangkan untuk mendukung pemantauan kondisi lutut secara personal [15]. Meskipun berbagai inovasi tersebut terus berkembang, evaluasi perubahan intensitas nyeri sebelum dan sesudah penggunaan *knee support* khusus tetap penting dilakukan pada pasien osteoartritis lutut.

Penelitian sebelumnya mengenai *knee support* dan *knee orthosis* lebih banyak membahas desain alat, dukungan mekanis, stabilitas sendi, serta pengembangan teknologi pemantauan lutut [11–16]. Meskipun penggunaan *knee support* telah banyak dikaji, kajian empiris yang secara khusus mengevaluasi perubahan tingkat nyeri pada penderita osteoartritis lutut dalam konteks pelayanan fisioterapi masih memerlukan penguatan. Berangkat dari kesenjangan tersebut, penelitian ini berfokus pada evaluasi perbedaan intensitas nyeri antara kondisi sebelum dan setelah penggunaan *knee support* khusus melalui pengukuran menggunakan *Visual Analog Scale* (VAS). Hasil penelitian diharapkan dapat memperkaya bukti ilmiah mengenai pemanfaatan alat penyangga lutut sebagai alternatif terapi pendukung nonfarmakologis dalam pengelolaan nyeri osteoartritis lutut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain dan lokasi penelitian

Rancangan pra-eksperimental dengan model pengukuran sebelum dan sesudah intervensi pada satu kelompok (*one-group pretest-posttest design*) digunakan di penelitian ini. Penelitian dilakukan pada pasien dengan keluhan nyeri lutut osteoartritis yang mendapatkan pelayanan di Poli Fisioterapi wilayah Kabupaten Karanganyar. Penelitian dilaksanakan pada periode Juli-Desember 2026. Desain penelitian digunakan untuk membandingkan intensitas nyeri sebelum dan setelah penggunaan *knee support* khusus.

2.2 Variabel penelitian

Penggunaan knee support khusus ditetapkan sebagai variabel independen, sementara intensitas nyeri pada pasien osteoartritis lutut menjadi variabel dependen dalam penelitian ini. Penggunaan *knee support*

bertujuan memberikan dukungan pada sendi lutut selama beraktivitas. Pemasangan alat dilakukan dengan memperhatikan kesesuaian posisi dan kenyamanan pasien. Penilaian kenyamanan serta prosedur pemasangan dicatat sesuai dengan prosedur yang diterapkan selama penelitian.

2.3 Populasi dan sampel

Populasi penelitian adalah pasien dengan osteoartritis lutut yang mendapatkan pelayanan fisioterapi di wilayah Kabupaten Karanganyar. Penelitian ini melibatkan 50 pasien yang memenuhi persyaratan inklusi dan eksklusi. Responden yang dapat berpartisipasi adalah pasien yang telah didiagnosis mengalami osteoartritis lutut, memiliki keluhan nyeri pada lutut, serta bersedia mengikuti seluruh rangkaian penelitian, termasuk menjalani pengukuran sebelum dan setelah intervensi. Kriteria eksklusi ditetapkan berdasarkan kondisi yang dapat menghambat penggunaan *knee support* atau pelaksanaan pengukuran. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik *simple random sampling* dari daftar pasien yang memenuhi kriteria penelitian.

2.4 Instrumen dan pengukuran

Pengumpulan data dilakukan menggunakan lembar identitas responden dan *Visual Analog Scale* (VAS) untuk mengukur intensitas nyeri lutut. Skor nyeri diukur sebelum dan sesudah penggunaan *knee support* khusus. Nilai VAS yang semakin tinggi mencerminkan tingkat nyeri yang semakin berat, sedangkan nilai yang lebih rendah mengindikasikan intensitas nyeri yang lebih ringan. Data identitas responden digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik sampel penelitian.

2.5 Prosedur penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui dua tahap pengukuran. Pada tahap pertama, peneliti mengumpulkan data karakteristik responden, memeriksa kesesuaian dengan kriteria penelitian, dan mengukur intensitas nyeri menggunakan VAS sebagai nilai pretest. Selanjutnya, responden memperoleh edukasi mengenai penggunaan *knee support* khusus dari tenaga ortotik prostetik yang terlibat dalam penelitian. Edukasi meliputi cara pemasangan dan posisi penggunaan.

Setelah responden menggunakan *knee support* sesuai dengan prosedur penelitian selama 6 bulan, intensitas nyeri diukur kembali menggunakan VAS sebagai nilai posttest. Prosedur pemasangan, durasi penggunaan, dan aktivitas selama penggunaan dicatat sesuai pelaksanaan penelitian. Hasil pengukuran sebelum dan sesudah intervensi kemudian dibandingkan untuk menilai perubahan intensitas nyeri.

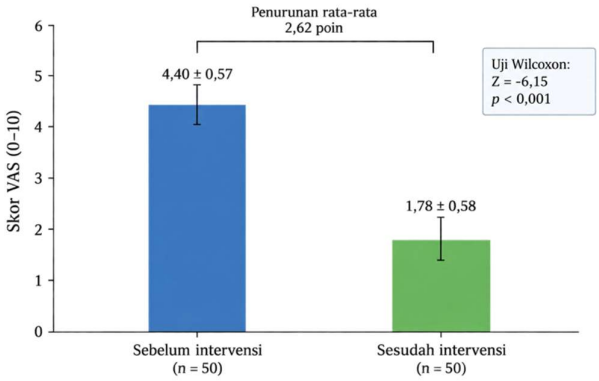
2.7 Analisis data

Data dianalisis secara deskriptif dan bivariat. Karakteristik responden serta skor nyeri disajikan menggunakan statistik deskriptif yang sesuai. Analisis perbedaan intensitas nyeri sebelum dan setelah penggunaan knee support dilakukan dengan uji *Wilcoxon signed rank*, mengingat data penelitian tidak berdistribusi normal. Nilai p kurang dari 0,05 ditetapkan sebagai batas signifikansi statistik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

3.1 Karakteristik Penelitian



Grafik memperlihatkan adanya penurunan nilai rata-rata nyeri berdasarkan VAS, dari 4,40 pada pengukuran awal menjadi 1,78 setelah responden menggunakan knee support khusus. Penurunan sebesar 2,62

poin menunjukkan adanya perbaikan intensitas nyeri pada pasien osteoartritis lutut setelah penggunaan *knee support*.

Berdasarkan Gambar 1, rata-rata skor nyeri VAS sebelum penggunaan *knee support* khusus sebesar 4,40 ± 0,57, sedangkan setelah penggunaan *knee support* menurun menjadi 1,78 ± 0,58. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa skor nyeri rata-rata berkurang sebanyak 2,62 poin, yang setara dengan penurunan sekitar 59,5% dari nilai awal.

3.2 Distribusi Nilai VAS

Nilai VAS	Frekuensi	Persentase
3	2	4%
4	26	52%
5	22	44%
Total	**50**	**100%**

Tabel 1. Sebelum Penggunaan Knee Support

Berdasarkan Tabel 1, sebelum penggunaan *knee support* khusus, sebagian besar responden memiliki skor VAS 4 sebanyak 26 orang (52%), diikuti skor VAS 5 sebanyak 22 orang (44%), sedangkan skor VAS 3 sebanyak 2 orang (4%). Temuan ini mengindikasikan bahwa sebelum intervensi dilakukan, mayoritas responden mengalami nyeri lutut pada kategori intensitas sedang hingga berat.

Nilai VAS	Frekuensi	Persentase
1	15	30%
2	31	62%
3	4	8%
Total	**50**	**100%**

Tabel 2. Setelah Penggunaan *Knee Support*

Berdasarkan Tabel 2, setelah penggunaan *knee support* khusus terjadi perubahan distribusi skor nyeri yang cukup jelas. Sebanyak 31 responden (62%) memiliki skor VAS 2, sebanyak 15 responden (30%) memiliki skor VAS 1, dan hanya 4 responden (8%) yang memiliki skor VAS 3. Tidak terdapat responden dengan skor VAS 4 atau 5 setelah intervensi.

VAS sebelum	VAS sesudah 1	VAS sesudah 2	VAS sesudah 3	Total
3	1	1	0	2
4	10	14	2	26
5	4	16	2	22
Total	**15**	**31**	**4**	**50**

Tabel 3. Tabulasi Perubahan VAS

Berdasarkan Tabel 3, seluruh responden mengalami penurunan skor VAS setelah penggunaan *knee support* khusus. Responden dengan skor awal VAS 3 sebanyak 2 orang mengalami penurunan menjadi skor 1 atau 2. Pada responden dengan skor awal VAS 4, sebanyak 10 orang mengalami penurunan menjadi VAS 1, 14 orang menjadi VAS 2, dan 2 orang menjadi VAS 3. Sementara itu, dari 22 responden dengan skor awal VAS 5, sebanyak 4 orang mengalami penurunan menjadi VAS 1, 16 orang menjadi VAS 2, dan 2 orang menjadi VAS 3.

3.3 Analisis Efektivitas *Knee Support* terhadap Nyeri

Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan skor nyeri sebelum dan sesudah penggunaan *knee support* khusus. Rata-rata skor VAS menurun dari 4,40 menjadi 1,78, dengan seluruh responden menunjukkan penurunan skor nyeri. Uji Wilcoxon signed-rank menghasilkan nilai $Z = -6,15$ dengan $p < 0,001$, sehingga terdapat perbedaan yang bermakna secara statistik antara skor nyeri sebelum dan sesudah penggunaan knee support.

PEMBAHASAN

Penurunan intensitas nyeri setelah penggunaan *knee support* khusus menunjukkan adanya perbaikan skor nyeri pada pasien osteoartritis lutut selama periode penelitian. Secara biomekanis, *knee orthosis* dapat memberikan dukungan dan stabilisasi pada sendi lutut, membantu mengatur distribusi beban, serta memengaruhi kontrol gerak dan propriosepsi. Mekanisme tersebut berpotensi mengurangi pembebanan mekanis yang tidak menguntungkan pada sendi dan berkontribusi terhadap penurunan persepsi nyeri [1,18].

Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang melaporkan adanya penurunan nyeri setelah penggunaan alat penyangga lutut. Penelitian Trimandasari et al. menunjukkan penurunan derajat nyeri setelah

penggunaan *elastic knee decker* pada pengayuh becak [8]. Selain itu, penelitian Robert-Lachaine et al. mengevaluasi penggunaan *knee brace* pada pasien osteoartritis lutut dan melaporkan manfaat pada aspek nyeri dan fungsi, meskipun respons pasien dapat bervariasi [7]. Bukti dari meta-analisis juga menunjukkan bahwa penggunaan *knee brace* dapat memberikan perbaikan nyeri dibandingkan tanpa penggunaan brace, dengan besarnya manfaat yang dipengaruhi oleh jenis dan desain orthosis [9]. Kesamaan temuan tersebut mendukung potensi penggunaan alat penyangga lutut sebagai salah satu pendekatan pendamping nonfarmakologis untuk pengelolaan nyeri lutut.

Sebelum intervensi, responden mengalami nyeri dengan tingkat yang bervariasi. Pada osteoartritis lutut, keluhan nyeri dapat berkaitan dengan perubahan struktur sendi, pembebanan mekanis, serta gangguan biomekanik dan fungsi lutut [1]. Setelah penggunaan *knee support* khusus, mayoritas responden berpindah ke kategori skor nyeri yang lebih rendah. Bahkan, berdasarkan hasil penelitian ini, seluruh responden mengalami penurunan skor nyeri, tanpa responden yang menunjukkan peningkatan atau skor yang tetap. Pola tersebut menggambarkan konsistensi perubahan skor nyeri selama periode pengamatan dan memperkuat temuan deskriptif bahwa penggunaan *knee support* khusus diikuti oleh penurunan intensitas nyeri pada kelompok penelitian ini.

Temuan penelitian memperlihatkan adanya perubahan tingkat nyeri yang signifikan antara sebelum dan setelah pemakaian knee support khusus.. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya mengenai penggunaan berbagai jenis *knee brace* dan *knee decker* [7–9,18]. Namun, hasil tersebut perlu ditafsirkan sesuai dengan desain penelitian *one-group pretest–posttest* yang tidak melibatkan kelompok kontrol. Dengan demikian, penurunan skor nyeri belum dapat dipastikan sepenuhnya sebagai akibat penggunaan *knee support* karena kemungkinan pengaruh faktor lain, seperti perubahan aktivitas, penggunaan obat analgesik, atau perjalanan alami gejala, belum dapat dikesampingkan. Penelitian selanjutnya dengan kelompok pembanding, pemantauan penggunaan alat yang lebih terstandar, dan pengendalian faktor perancu diperlukan untuk memperkuat bukti mengenai manfaat *knee support* khusus dalam pengelolaan nyeri osteoartritis lutut.

4. KESIMPULAN

Pemakaian *knee support* khusus berkaitan dengan berkurangnya intensitas nyeri pada pasien osteoartritis lutut. Hal ini terlihat dari penurunan nilai rata-rata *Visual Analog Scale* (VAS), yaitu dari 4,40 ± 0,57 sebelum intervensi menjadi 1,78 ± 0,58 setelah intervensi, dengan selisih rata-rata sebesar 2,62 poin. Berdasarkan uji Wilcoxon *signed-rank*, ditemukan perbedaan yang signifikan secara statistik antara skor nyeri pada kedua waktu pengukuran ($Z = -6,15$; $p < 0,001$). Temuan ini mengindikasikan bahwa *knee support* khusus memiliki potensi untuk digunakan sebagai terapi tambahan nonfarmakologis dalam penanganan nyeri akibat osteoartritis lutut.

Meskipun demikian, penggunaan desain *one-group pretest-posttest* tanpa kelompok kontrol menjadi keterbatasan dalam menentukan apakah penurunan nyeri tersebut sepenuhnya merupakan dampak dari intervensi. Penelitian mendatang disarankan melibatkan kelompok pembanding, mengendalikan faktor-faktor yang berpotensi memengaruhi hasil, termasuk penggunaan obat analgesik, serta menetapkan standar durasi dan kepatuhan penggunaan alat. Langkah-langkah tersebut diperlukan untuk memperoleh bukti yang lebih kuat mengenai manfaat *knee support* khusus dalam pengelolaan nyeri osteoartritis lutut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, serta berperan dalam kelancaran pelaksanaan penelitian ini. Khususnya pihak Poli Fisioterapi di wilayah Kabupaten Karanganyar, tenaga kesehatan yang terlibat, serta seluruh responden yang telah berpartisipasi dalam penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengumpulan data hingga penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

[1] Dzidotor GK, Moorhead JB Jr, Ude CC, Ogueri KS, Ghosh D, Laurencin CT. Functions and effectiveness of unloader, patellofemoral, and knee sleeve orthoses: a review. *Regen Eng Transl Med*. 2024;10:147–171. doi:10.1007/s40883-023-00313-1.

[2] Kim HY, Oh KW. Cycling knee brace design analysis using 3D virtual clothing program to assess clothing pressure distribution and variance. *Fashion Text*. 2023;10:36. doi:10.1186/s40691-023-00354-8.

[3] Shamimi I, Noverial, Miftah, Yevri, Dinda R, Shinta. Gambaran kualitas hidup pasien osteoartritis lutut di Poliklinik Khusus Penyakit Dalam RSUP Dr M Djamil Padang. *J Ilmu Psikol Kesehat*. 2026;3(1):1553–1559.

[4] Widiastuti A, Palupi DLM, Kholifa SN, Raharja MLT. Latihan fisik (*knee pain exercise*) sebagai upaya terapi nonfarmakologi atasi nyeri lutut lansia. *J Masyarakat Madani Indones*. 2026;5(1):203–208. doi:10.59025/kdvpsj74.

[5] Sulastri,dkk. (2012). Gambaran Pola Makan Penderita Gastritis Di Wilayah Kerja Puskesmas Kampar Kiri Hulu Kecamatan Kampar Kiri Hulu http://repository.unimus.ac.id Kabupaten Kampar Riau, USU, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Sumatera Utara, (Skripsi) https://jurnal.usu.ac.id/index.php/gkre/article/view/1051.

[6] Iheukwumere, N., Okoye, E. 2014. Prevalence of Symptomatic Cervical Spondylosis in A Nigerian Tertiary Health Institution. Tropical Journal of Medical Research 17, 25.

[7] Robert-Lachaine X, Dessery Y, Belzile ÉL, Corbeil P. Knee braces and foot orthoses multimodal 3-month treatment of medial knee osteoarthritis in a randomised crossover trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2024;32:2919–2930. doi:10.1002/ksa.12312.

[8] Trimandasari C, Utomo PC, Akbar MS. Pengaruh penggunaan knee decker terhadap nyeri lutut pada pengayuh becak di Pasar Klewer. *J Keterapian Fisik*. 2018;3(1):9.

[9] Kim HY, Oh KW. Cycling knee brace design analysis using 3D virtual clothing program to assess clothing pressure distribution and variance. *Fashion Text*. 2023;10:36. doi:10.1186/s40691-023-00354-8.

[10] Zhao J, Wang X. Evaluation study on comfort of flexible knee joint protector. In: *Proceedings of the 2022 3rd International Symposium on Artificial Intelligence for Medicine Sciences (ISAIMS 2022)*; 2022 Oct 13–15; Amsterdam, Netherlands. New York: ACM; 2022. p. 1–5. doi:10.1145/3570773.3570863.

[11] Schmid QT, Ruschke S, Karampinos DC, Senner V. Development of a 3D-knee brace joint using MRI data and a genetic algorithm. *Sports Eng*. 2025;28:5. doi:10.1007/s12283-025-00486-8.

[12] Zhou X, Liu X, Hao J, Liu Y, Tang Y. Design and evaluation of a wedge-shaped adaptive knee orthosis for the human lower limbs. *Front Bioeng Biotechnol*. 2024;12:1439616. doi:10.3389/fbioe.2024.1439616.

[13] Liu K, Ji S, Liu Y, Zhang S, Dai L. Design and optimization of an adaptive knee joint orthosis for biomimetic motion rehabilitation assistance. *Biomimetics*. 2024;9:98. doi:10.3390/biomimetics9020098.

[14] McPherson A, McDaid AJ, Ward S. Toward personalized orthopedic care: validation of a smart knee brace. *Digit Biomark*. 2024;8:75–82. doi:10.1159/000538487.

[15] Ma Z, Fang L, Fang C, Chen F, Xing SP, Chai B, et al. Intelligent wearable system design for personalized knee motion and swelling monitoring in osteoarthritis care. *Cell Rep Phys Sci*. 2025;6:102438. doi:10.1016/j.xcrp.2025.102438.

[16] Ponram P, Mythili C, Selvakumar NC, Kumar ASJ. Ergonomic assessment and gait analysis of a knee joint model with an active spring-reinforced centrally-rollable knee bypass support system. *J Nat Sci Found Sri Lanka*. 2024;52(2):257–269. doi:10.4038/jnsfsr.v52i2.11839.

[17] Akbar MS, Syafar M, Thamrin Y, Aras D, Indar I, Arsyad M. Innovative mHealth for addressing low back pain-related factors amongst lower-limb amputees: a quasi-experimental. *Afr J Disabil*. 2026;15(0):a1890. doi:10.4102/ajod.v15i0.1890.

[18] Utomo PC, Fatati M, Putri AO. Pengaruh penggunaan knee decker terhadap nyeri lutut saat mendaki gunung mahasiswa pencinta alam. Medical Journal of Nusantara. 2025;4(1):12–17. doi:10.55080/mjn.v4i1.1373

[19] Khan SJ. Analysis of orthosis with biomechanical interventions and gait modifications for medial knee osteoarthritis patients [dissertation]. Kuala Lumpur: University of Malaya; 2018.

[20] Mentari YA. Gambaran aktivitas fungsional penderita osteoarthritis lutut yang menggunakan knee support. Jurnal Keterapian Fisik. 2018;3(1):46–52.

[21] Ni'amah S. Desain orthosis untuk penderita cerebral palsy spastik dengan konsep easy to use, lightweight, dan social confident [tugas akhir]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2017.

[22] Swastini, D., Lestari, N., & Putri, A. (2022). Dampak psikologis nyeri sendi pada lansia. Jurnal Keperawatan Gerontik, 10(1), 30–38.

[23] Lawford, B. J., Hinman, R. S., & Bennell, K. L. (2024). The psychological impact of chronic knee pain in older adults. Pain Management, 14(2), 101–111.

[24] Swastini, D., Lestari, N., & Putri, A. (2022). Dampak psikologis nyeri sendi pada lansia. Jurnal Keperawatan Gerontik, 10(1), 30–38.

[24] Qiao, H., Li, F., & Zhang, Y. (2024). Exercise therapy for knee osteoarthritis in older adults: A systematic review. Journal of Orthopaedic Research, 42(1), 55–64.

[25] Silvia, N., Widyahening, I.S., Soemarko, D.S. 2017. Efektivitas Latihan Leher dan Bahu dalam Mengurangi Nyeri Leher dan Bahu pada Pekerja Kantor dengan Komputer: Laporan Kasus Berbasis Bukti 7.

[26] Yue, P., Liu, F., Li, L. 2012. Neck/Shoulder Pain and Low Back Pain among Schoolteachers in China, Prevalence and Risk Factors. BMC Public Health 12.