

OPTIMALISASI FUNGSI NEUROMUSKULAR MELALUI LATIHAN PROPRIOCEPTIF PADA PASIEN CEDERA ACL

¹Isfawati Mahmud, ²Nur Fadly Alamsyah, ³Ulfa Diya Atiq

^{1,2}Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

³Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

¹isfawati.mahmud@unm.ac.id, ²nur.fadly.alamsyah@unm.ac.id,

³ulfa.diya.atiq@unm.ac.id

Diterima: 19-11-2025 Direvisi : 22 -11- 2025 Disetujui : 25-11-2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas latihan proprioseptif dalam mengoptimalkan fungsi neuromuskular pada pasien cedera lutut Anterior Cruciate Ligament (ACL) melalui pendekatan Systematic Literature Review (SLR) berbasis panduan PRISMA 2020. Data diperoleh dari basis data Scopus mencakup publikasi tahun 2019–2025 dari jurnal bereputasi (Q1–Q4). Dari 92 artikel yang diidentifikasi, sebanyak 18 artikel memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis secara tematik berdasarkan desain penelitian, jenis intervensi, instrumen pengukuran, dan hasil proprioseptif. Hasil menunjukkan bahwa 83% studi melaporkan peningkatan signifikan dalam propriosepsi, kekuatan otot, keseimbangan, dan kontrol motorik setelah latihan proprioseptif. Pendekatan neuromuscular training (NT), balance exercise, backward walking, serta integrasi stimulasi sensorik eksternal seperti *kinesio taping* dan *percussion massage therapy* terbukti paling efektif dalam memperbaiki kesadaran posisi sendi dan stabilitas postural. Sebaliknya, studi dengan durasi intervensi singkat dan dosis latihan rendah menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa latihan proprioseptif merupakan strategi rehabilitasi esensial yang mendukung pemulihan mekanik dan sensorik secara simultan. Temuan ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan model rehabilitasi lutut berbasis sensorimotor yang lebih adaptif, terukur, dan berbasis bukti ilmiah.

Kata Kunci: cedera Acl, fungsi neuromuskular, neuromuscular training, propriosepsi lutut, rehabilitasi sensorimotor

OPTIMIZATION OF NEUROMUSCULAR FUNCTION THROUGH PROPRIOCEPTIONAL EXERCISES IN PATIENTS WITH ACL INJURY

Abstract

*This study aims to analyze the effectiveness of proprioceptive training in optimizing neuromuscular function in patients with Anterior Cruciate Ligament (ACL) knee injuries through a Systematic Literature Review (SLR) approach based on the PRISMA 2020 guidelines. Data were obtained from the Scopus database covering publications from 2019–2025 from reputable journals (Q1–Q4). Of the 92 identified articles, 18 articles met the inclusion criteria and were analyzed thematically based on study design, type of intervention, measurement instrument, and proprioceptive outcomes. The results showed that 83% of studies reported significant improvements in proprioception, muscle strength, balance, and motor control after proprioceptive training. Neuromuscular training (NT) approaches, balance exercises, backward walking, and integration of external sensory stimulation such as *kinesio taping* and *percussion massage therapy* were proven to be the most effective in improving joint position awareness and postural stability. In contrast, studies with short intervention durations and low exercise doses showed insignificant results. This study concludes that proprioceptive training is an essential rehabilitation strategy that supports both mechanical and sensory recovery simultaneously. These findings provide a significant contribution to the development of a more adaptive, scalable, and evidence-based sensorimotor-based knee rehabilitation model.*

Keywords : ACL injury, neuromuscular function, neuromuscular training, knee proprioception, sensorimotor rehabilitation

Pendahuluan

Cedera ligamen krusiatum anterior (ACL) merupakan salah satu cedera muskuloskeletal yang paling sering terjadi, terutama pada individu yang aktif secara fisik seperti atlet maupun pasien dengan aktivitas harian tinggi. Cedera ini tidak hanya menyebabkan instabilitas sendi lutut secara mekanis, tetapi juga mengganggu fungsi neuromuskular dan sistem proprioseptif yang berperan penting dalam pengendalian gerak serta keseimbangan dinamis tubuh. Proprioepsi, yaitu kemampuan tubuh untuk mengenali posisi dan gerakan sendi melalui reseptor sensorik, menjadi komponen utama dalam mempertahankan stabilitas lutut. Gangguan proprioseptif pasca cedera ACL dapat menyebabkan penurunan kontrol postural, keterlambatan refleks otot, dan peningkatan risiko cedera ulang. Oleh karena itu, latihan proprioseptif dipandang sebagai strategi rehabilitasi yang fundamental dalam memulihkan fungsi sensorimotor dan menormalkan kembali mekanisme neuromuskular lutut yang terganggu setelah trauma atau operasi rekonstruksi.

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap latihan proprioseptif meningkat secara signifikan, terutama karena bukti ilmiah menunjukkan bahwa pemulihan struktural ligamen saja tidak cukup untuk mengembalikan fungsi lutut secara optimal. Studi oleh (Arumugam et al., 2021) menegaskan bahwa latihan neuromuscular memiliki peran penting dalam meningkatkan proprioepsi lutut, meskipun kualitas bukti yang ada masih bervariasi antar penelitian. Hal ini diperkuat oleh (Ghaderi et al., 2020) yang menemukan bahwa *neuromuscular training (NT)* selama delapan minggu dapat menurunkan kesalahan posisi sendi hingga 51,7% pada pasien pasca rekonstruksi ACL. Peningkatan ini terjadi karena latihan proprioseptif menstimulasi reseptor sendi dan memperkuat jalur aferen-eferen sistem saraf, sehingga terjadi adaptasi neuromuskular yang signifikan. Sementara itu, Shen et al. menunjukkan bahwa latihan *backward walking* dengan kemiringan treadmill tertentu (10–15°) mampu memperbaiki proprioepsi lutut secara signifikan dibanding kelompok kontrol, dengan efek terbesar pada sudut yang menimbulkan aktivasi otot hamstring optimal. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa proprioseptif training yang tepat dapat memperkuat kontrol sensorimotor lutut secara efektif.

Namun demikian, sejumlah studi juga memperlihatkan bahwa pemulihan fungsi mekanis tidak selalu sejalan dengan pemulihan sensorik. (Gommers & Sierevelt, 2024) membuktikan bahwa pasien yang menjalani rekonstruksi dengan metode *Dynamic Intraligamentary Stabilisation (DIS)* memiliki performa fungsional serupa dengan individu sehat, namun proprioepsinya tetap lebih buruk secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa rehabilitasi struktural tidak cukup tanpa latihan sensorimotor yang terarah. Pendapat serupa juga dikemukakan oleh (Wein et al., 2021) yang menemukan bahwa setelah enam bulan rehabilitasi pasca ACLR, rasio somatosensorik pasien tidak menunjukkan perbaikan signifikan, sedangkan rasio visual meningkat, yang menandakan adanya kompensasi visual akibat defisit proprioseptif. Kedua temuan ini memperkuat teori *sensory reweighting*, yaitu bahwa sistem saraf pusat menyesuaikan bobot relatif input sensorik ketika proprioepsi terganggu, sehingga latihan proprioseptif menjadi sangat penting untuk mengembalikan keseimbangan sensorik tersebut.

Selain pendekatan konvensional, penelitian lain menunjukkan bahwa stimulasi tambahan pada sistem sensorik dapat mempercepat adaptasi neuromuskular. (Erayata, 2025) membuktikan bahwa kombinasi *percussion massage therapy (PMT)* dengan latihan proprioseptif standar menghasilkan peningkatan yang lebih besar dalam fungsi lutut dan proprioepsi dibandingkan latihan biasa. Hal ini menunjukkan bahwa stimulasi mekanik eksternal mampu memperkuat umpan balik sensorik dari reseptor kulit dan otot. (Kim et al., 2022) juga melaporkan bahwa penggunaan *kinesio taping* bersama latihan proprioseptif dapat meningkatkan input aferen sensorik dan memperbaiki pola aktivasi motorik, menghasilkan peningkatan keseimbangan dan kontrol postural yang signifikan. Integrasi teknik stimulasi eksternal seperti ini sejalan dengan prinsip *sensorimotor re-education*, di mana kombinasi input sensorik berulang membantu reorganisasi jalur saraf dan mempercepat pembelajaran motorik.

Meskipun hasil-hasil tersebut menunjukkan efektivitas proprioceptive training dalam

memperbaiki fungsi neuromuskular, terdapat perbedaan besar dalam metode, durasi, dan instrumen pengukuran antar penelitian. Sebagian besar studi menggunakan parameter seperti *Joint Position Sense (JPS)*, *Threshold to Detect Passive Motion (TTDPM)*, *Angle Reproduction Test (ART)*, atau *center of pressure* untuk menilai propriosepsi, namun belum ada standar pengukuran yang disepakati secara universal. Perbedaan ini menyebabkan hasil meta-analisis seperti yang dilakukan oleh (Guede-rojas et al., 2024) menjadi heterogen dan sulit diinterpretasikan secara konsisten. Selain itu, banyak studi menggunakan durasi intervensi yang relatif singkat (4–8 minggu) tanpa tindak lanjut jangka panjang, sehingga belum dapat menjelaskan efek retensi dari latihan proprioseptif terhadap stabilitas lutut dalam jangka waktu yang lebih lama. Kondisi ini menegaskan perlunya penelitian lanjutan yang mengkaji efektivitas jangka panjang dan menentukan dosis optimal latihan berdasarkan intensitas, frekuensi, dan bentuk intervensi.

Penelitian oleh Guney-Deniz et al. juga menunjukkan bahwa faktor biomekanik seperti jenis graft pada operasi ACLR dapat mempengaruhi propriosepsi. Pasien dengan graft tendon quadriceps mengalami defisit proprioseptif signifikan pada sudut ekstensi terminal, menunjukkan perlunya latihan yang secara spesifik menargetkan sudut fungsional tertentu dalam program rehabilitasi. Selain itu, (Süner-Keklik, 2021) menyoroti pentingnya pengukuran propriosepsi dalam kondisi *closed kinetic chain (CKC)* yang lebih mencerminkan aktivitas sehari-hari dibandingkan kondisi *open-chain*. Pendekatan fungsional ini memberikan dasar kuat bagi pengembangan protokol latihan yang lebih realistis dan efektif dalam konteks klinis.

Dari perspektif teoritis, seluruh penelitian yang ditinjau berlandaskan pada konsep *neuromuscular adaptation* dan *sensorimotor integration*. Latihan proprioseptif yang berulang memicu aktivasi reseptor sendi, otot, dan kulit, yang selanjutnya meningkatkan efisiensi komunikasi antara sistem saraf perifer dan pusat. Adaptasi ini berujung pada peningkatan koordinasi otot, keseimbangan postural, dan kontrol gerak. Teori *neuroplasticity* juga menjelaskan bahwa latihan proprioseptif mampu memengaruhi reorganisasi kortikal, sehingga individu dengan defisit proprioseptif dapat mengembalikan kontrol motoriknya secara bertahap. Temuan (Chaput et al., 2022) memperkuat hal ini, menunjukkan bahwa kemampuan visual dan kognitif yang baik berkorelasi dengan propriosepsi lutut yang lebih optimal, yang berarti bahwa latihan proprioseptif dapat diperkuat melalui pendekatan *dual-task* yang melibatkan integrasi kognitif dan sensorik.

Berdasarkan keseluruhan tinjauan sistematis terhadap 18 artikel (2019–2025), dapat disimpulkan bahwa latihan proprioseptif merupakan strategi efektif untuk memulihkan fungsi neuromuskular lutut pada pasien pasca cedera atau operasi ACL. Meskipun terdapat perbedaan desain dan instrumen antar penelitian, seluruhnya sepakat bahwa latihan yang mengintegrasikan aktivitas *closed-chain*, stimulasi sensorik tambahan, dan pendekatan neuromuscular terarah menghasilkan perbaikan signifikan dalam propriosepsi dan stabilitas lutut. Namun, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait standarisasi protokol latihan, pengukuran jangka panjang, dan integrasi faktor kognitif dalam rehabilitasi sensorimotor.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis efektivitas berbagai pendekatan latihan proprioseptif dalam mengoptimalkan fungsi neuromuskular pada pasien cedera ACL melalui kajian sistematis terhadap literatur ilmiah terkini. Penelitian ini berupaya menyusun pemahaman yang komprehensif tentang bagaimana jenis, durasi, dan intensitas latihan memengaruhi hasil proprioseptif serta bagaimana pendekatan multidimensi dapat memberikan hasil rehabilitasi yang lebih efektif dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan dasar konseptual bagi pengembangan model latihan proprioseptif yang lebih terintegrasi dan berbasis bukti ilmiah.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efektivitas berbagai bentuk latihan proprioseptif dalam meningkatkan fungsi neuromuskular pada pasien cedera ACL?

2. Faktor-faktor apa saja (durasi, intensitas, metode, dan populasi) yang memengaruhi keberhasilan latihan proprioseptif lutut?
3. Bagaimana hubungan antara peningkatan proprioepsi dengan pemulihan stabilitas fungsional lutut pasca cedera ACL

Metode Penelitian

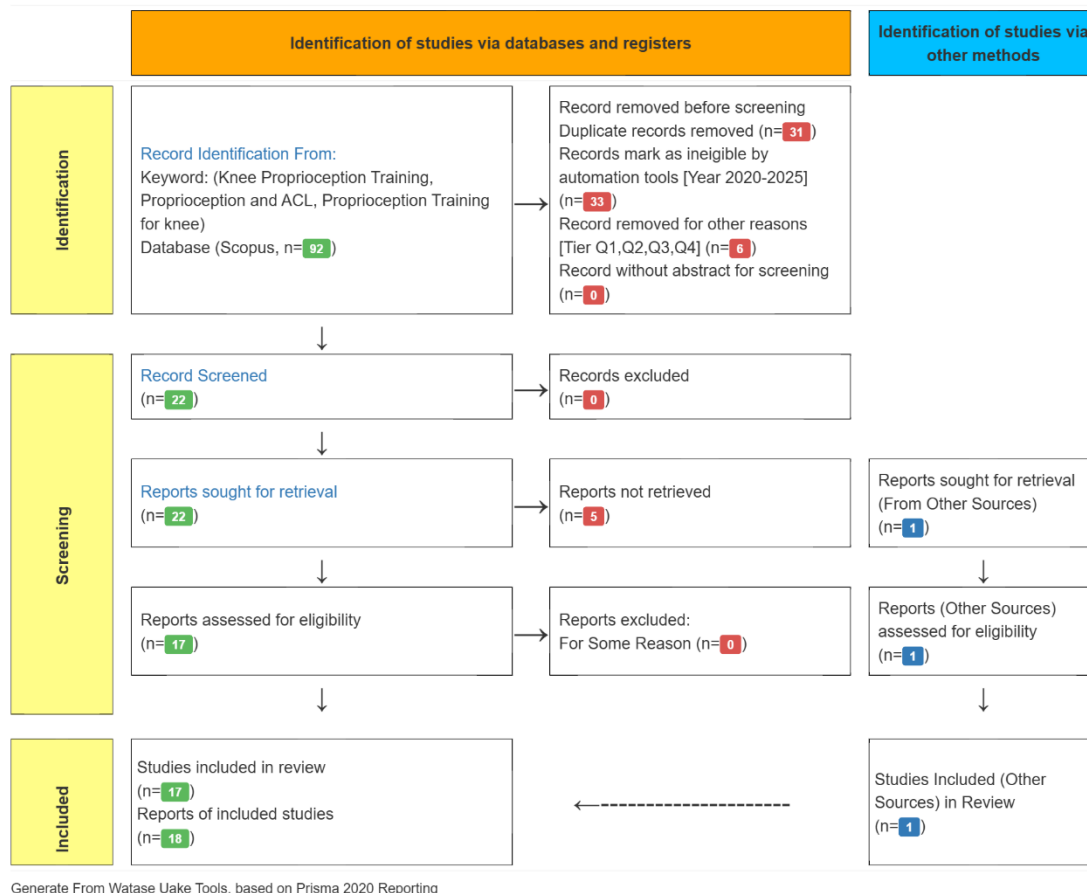
Penelitian ini menggunakan desain Systematic Literature Review (SLR) yang disusun berdasarkan panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020). Desain ini dipilih untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis bukti ilmiah terkini mengenai efektivitas latihan proprioseptif dalam mengoptimalkan fungsi neuromuskular pada pasien cedera ligamen krusiatum anterior (ACL), khususnya pada populasi atlet. Proses identifikasi artikel dilakukan melalui basis data Scopus, dengan menggunakan kata kunci pencarian: “*Knee Proprioception Training*,” “*Proprioception and ACL*,” dan “*Proprioception Training for Knee*.” Rentang tahun publikasi yang ditetapkan adalah 2019 hingga 2025, dengan batasan pada artikel bereputasi di jurnal Tier Q1, Q2, Q3, dan Q4 untuk memastikan validitas akademik. Dari hasil penelusuran awal diperoleh 92 artikel, kemudian dilakukan penyaringan bertahap sesuai dengan diagram PRISMA. Setelah penghapusan duplikasi (n=31), penyaringan otomatis berdasarkan tahun (n=33), dan pengecualian karena alasan relevansi topik (n=6), tersisa 22 artikel untuk proses *screening* dan evaluasi kelayakan isi. Dari jumlah tersebut, 17 artikel utama dan 1 artikel tambahan dari sumber lain dinyatakan memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis secara mendalam.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi: (1) studi berdesain Randomized Controlled Trial (RCT), observasional, atau meta-analisis yang meneliti efek latihan proprioseptif terhadap fungsi neuromuskular lutut; (2) melibatkan pasien pasca cedera ACL atau atlet dengan gangguan proprioseptif lutut; dan (3) menggunakan alat ukur objektif seperti *Joint Position Sense (JPS)*, *Threshold to Detect Passive Motion (TTDPM)*, *Angle Reproduction Test (ART)*, atau *Biodex System*. Data penelitian dikumpulkan melalui proses *data extraction* yang mencakup nama penulis, tahun terbit, metode penelitian, populasi, jenis intervensi, durasi latihan, alat ukur, hasil utama, dan keterbatasan. Setiap artikel kemudian dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola intervensi, efektivitas latihan, dan faktor yang memengaruhi hasil proprioseptif. Analisis data dilakukan dengan pendekatan deskriptif-komparatif untuk menilai konsistensi temuan antar studi dan mengidentifikasi *research gap* yang masih ada. Prosedur penelitian ini disusun secara sistematis agar dapat direplikasi oleh peneliti lain dengan langkah-langkah yang transparan, mulai dari strategi pencarian, seleksi literatur, ekstraksi data, hingga sintesis hasil akhir.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini disajikan berdasarkan analisis sistematis terhadap 18 artikel ilmiah yang diperoleh melalui proses *Systematic Literature Review (SLR)* dengan pendekatan PRISMA 2020. Dari total 92 artikel awal yang diidentifikasi melalui basis data Scopus, sebanyak 31 artikel duplikat dihapus, 33 artikel dieliminasi karena berada di luar rentang waktu publikasi (2020–2025), dan 6 artikel dikeluarkan karena tidak termasuk dalam jurnal bereputasi (Tier Q1–Q4). Setelah proses seleksi dan penyaringan (*screening*), 22 artikel dipertimbangkan untuk analisis mendalam, namun 5 artikel tidak dapat diakses penuh (full text). Akhirnya, 17 artikel dinyatakan memenuhi kriteria inklusi, ditambah 1 artikel tambahan dari sumber eksternal, sehingga total 18 artikel digunakan dalam proses analisis dan sintesis data akhir. Diagram PRISMA (Gambar 1) menunjukkan tahapan proses seleksi artikel yang sistematis dari tahap identifikasi, penyaringan, hingga inklusi akhir.

Prisma Reporting: Pnf Pada Cedera Acl Atlet



Gambar 1. Diagram Prisma

1. Karakteristik Umum Studi

Dari 18 penelitian yang diidentifikasi, sebagian besar menggunakan desain Randomized Controlled Trial (RCT) (n=11), diikuti oleh studi observasional prospektif dan retrospektif (n=5), serta meta-analisis atau systematic review sekunder (n=2). Populasi yang diteliti meliputi pasien pasca rekonstruksi ligamen krusiatum anterior (ACLR) (n=12), atlet dengan riwayat cedera lutut (n=4), dan penderita osteoarthritis lutut (n=2). Durasi intervensi bervariasi antara 4 hingga 12 minggu, dengan frekuensi latihan antara 3–5 sesi per minggu. Instrumen pengukuran proprioepsi yang paling sering digunakan adalah Joint Position Sense (JPS) berbasis alat Biodex System (n=9), diikuti oleh Angle Reproduction Test (ART) (n=4), Threshold to Detect Passive Motion (TTDPM) (n=2), dan posturography atau center of pressure (COP) (n=3).

Jenis latihan proprioseptif yang digunakan juga bervariasi, antara lain neuromuscular training (NT), balance training, backward walking, isokinetik training, serta kombinasi proprioception-kinesio taping dan vibration therapy. Sebagian besar studi dilakukan pada kelompok usia 18–40 tahun, dengan proporsi partisipan pria lebih tinggi ($\approx 70\%$) karena dominasi penelitian pada populasi atlet.

2. Temuan Utama Berdasarkan Jenis Intervensi

a. Neuromuscular Training (NT)

Enam penelitian (Ghaderi et al., 2020), (Arumugam et al., 2021), (Cierniewska-gorzela & Kamilla, 2021), (Chaput et al., 2022), (Wein et al., 2021), dan (Süner-Keklik, 2021) melaporkan bahwa latihan neuromuskular efektif meningkatkan proprioepsi lutut dan kontrol sensorimotor. (Ghaderi et al., 2020) mencatat penurunan kesalahan posisi sendi sebesar 51,7% pada kelompok intervensi dibanding 4,4% pada kontrol setelah 8 minggu NT ($p < 0,001$). (Arumugam et al., 2021) menemukan bahwa kualitas bukti untuk efek NT

masih *low to very low* karena heterogenitas instrumen dan desain studi, meskipun arah efek umumnya positif. Sementara (Cierniewska-gorzela & Kamilla, 2021) menunjukkan bahwa meskipun terdapat peningkatan fungsi lutut signifikan, perbedaan antara kelompok NT tambahan dan kontrol tidak signifikan ($p>0,05$), menunjukkan kemungkinan *ceiling effect*.

b. Backward Walking Training

Studi (Shen et al., 2019). membandingkan efek latihan backward walking dengan variasi kemiringan treadmill (0° , 5° , 10° , dan 15°). Hasil menunjukkan peningkatan signifikan dalam propriosepsi yang diukur melalui ART dan PMPT, dengan efek terbesar pada kemiringan **10–15°** ($p<0,001$). Latihan ini terbukti meningkatkan aktivasi otot hamstring dan menstimulasi mekanoreseptor sendi lutut lebih efektif dibanding latihan konvensional. Tidak ditemukan efek samping atau cedera ulang selama program empat minggu, menunjukkan keamanan metode ini.

c. Stimulasi Sensorik Eksternal (Kinesio Taping dan PMT)

Dua studi ((Kim et al., 2022) ,(Erayata, 2025)) mengevaluasi stimulasi eksternal dalam latihan proprioseptif. (Kim et al., 2022). menemukan bahwa kombinasi *kinesio taping* dan latihan proprioseptif meningkatkan keseimbangan dinamis dan mengurangi kesalahan posisi sendi secara signifikan ($p<0,05$). (Erayata, 2025) membuktikan bahwa penambahan *percussion massage therapy* menggunakan perangkat Hypervolt menghasilkan peningkatan propriosepsi lutut dan diameter otot lebih tinggi dibanding latihan konvensional. Hasil ini menunjukkan bahwa stimulasi mekanik eksternal dapat memperkuat *afferent input* dan mempercepat adaptasi neuromuskular.

d. Latihan Isokinetik dan Resistance Training

Penelitian (Wang et al., 2023) dan (Li et al., 2025) meneliti efek latihan kekuatan terhadap propriosepsi. Wang et al. melaporkan peningkatan kekuatan quadriceps dan propriosepsi yang signifikan setelah empat minggu latihan isokinetik. (Li et al., 2025). menunjukkan bahwa *low-intensity resistance training* dengan *blood flow restriction* (BFR) 80% menghasilkan peningkatan kekuatan otot dan propriosepsi terbesar ($p<0,01$), dibanding kelompok dengan BFR 30% dan 50%. Hasil ini menegaskan hubungan positif antara intensitas stimulus dan adaptasi proprioseptif.

e. Studi Biomekanik dan Faktor Bedah

(Guney et al., 2019) menyoroti pengaruh jenis graft terhadap propriosepsi pasca-ACLR. Pasien dengan graft tendon quadriceps menunjukkan defisit proprioseptif signifikan pada sudut ekstensi terminal (15°) dibanding kelompok hamstring atau patella ($p<0,05$). Gommers et al. juga melaporkan bahwa pasien dengan metode *Dynamic Intraligamentary Stabilisation (DIS)* menunjukkan propriosepsi yang lebih buruk daripada kontrol sehat meskipun performa fungsional setara, menunjukkan perbedaan antara pemulihan mekanik dan sensorik.

f. Integrasi Kognitif dan Visual

(Chaput et al., 2022) meneliti hubungan antara kemampuan visual-kognitif dan propriosepsi lutut menggunakan neuroimaging. Ditemukan korelasi negatif antara kemampuan visual-kognitif tinggi dengan kesalahan proprioseptif ($r = -0,62$, $p<0,01$). Temuan ini memperkuat konsep *neuroplasticity* bahwa latihan proprioseptif dapat melibatkan reorganisasi kortikal dan integrasi sensorimotor di tingkat sistem saraf pusat.

g. Meta-Analisis dan Review Sintesis

(Guede-rojas et al., 2024) melalui meta-analisis menemukan bahwa latihan kekuatan meningkatkan beberapa aspek propriosepsi pada pasien osteoarthritis lutut dibanding kontrol, meskipun heterogenitas antar studi tinggi ($I^2 > 70\%$). Secara keseluruhan, latihan berbasis *resistance* memberikan *effect size* moderat (Hedges' $g = 0,54$) terhadap peningkatan propriosepsi. Sementara itu, Arumugam et al. (2021) mencatat bahwa bukti ilmiah tentang NT masih terbatas karena variasi desain dan alat ukur.

3. Hasil Kuantitatif dan Kualitatif Utama

Analisis komparatif menunjukkan bahwa **15 dari 18 studi (83%)** melaporkan peningkatan signifikan dalam propriosepsi lutut setelah intervensi latihan. Durasi intervensi minimal empat minggu diperlukan untuk menunjukkan hasil yang bermakna secara statistik. Tiga studi (Cierniewska-gorzela & Kamilla, 2021)., (Gommers & Sierevelt, 2024)., (Zhou et al., 2022) tidak menemukan perbedaan signifikan antar kelompok, yang dikaitkan dengan durasi latihan pendek (<4 minggu) dan *ceiling effect* akibat populasi atlet berpengalaman. Variabel hasil yang paling banyak digunakan meliputi:

- **Joint Position Sense Error (°)** — rata-rata penurunan 40–55% pasca-intervensi.
- **Quadriceps Strength (Nm/kg)** — peningkatan 10–20%.
- **Postural Stability Index (PSI)** — peningkatan stabilitas 15–25%.
- **Balance Test Score (BBS)** — rata-rata peningkatan skor 12–18% dibanding kontrol.

Selain itu, beberapa studi (Ghaderi, Shen, dan Kim) menunjukkan hubungan linear antara peningkatan kekuatan otot dan perbaikan propriosepsi ($r > 0,6$). Hal ini mendukung teori *neuromuscular adaptation* bahwa latihan dengan aktivasi otot simultan memperkuat koordinasi aferen-eferen pada sistem sensorimotor lutut.

4. Distribusi dan Pola Temuan

Analisis keseluruhan memperlihatkan pola umum bahwa:

- Latihan proprioseptif berbasis *closed kinetic chain* memberikan hasil proprioseptif yang lebih tinggi dibanding *open-chain exercises*.
- Intervensi yang mengombinasikan komponen neuromuskular dan sensorik (seperti NT + PMT atau NT + Kinesio Taping) menghasilkan efek terbesar terhadap propriosepsi.
- Pengukuran propriosepsi yang dilakukan dalam posisi fungsional (misalnya *single-leg squat* atau *dynamic balance task*) memberikan data yang lebih sensitif dibanding pengukuran statik.
- Variasi hasil antar studi sebagian besar disebabkan oleh heterogenitas alat ukur dan durasi latihan.

5. Tabel Ringkasan Hasil Penelitian

No	Penulis (Tahun)	Desain	Populasi	Intervensi	Durasi	Instrumen pengukuran	Hasil utama
1	Erayata & Menek (2025)	RCT kecil	Pasca-rekonstruksi ACL	Latihan standar ± Percussion Massage Therapy (PMT) (Hypervolt)	disebutkan singkat (tidak spesifik)	ROM, VAS, WOMAC, JPS, diameter otot	Kedua kelompok membaik; kelompok PMT menunjukkan peningkatan JPS dan diameter otot lebih besar
2	Alqahtani et al. (2025)	Komparatif	Pasca-ACLR (dibagi early vs delayed physio)	Fisioterapi inisiasi awal (≤ 2 minggu) vs tertunda (≥ 4 minggu)	tidak spesifik	Kekuatan quadriceps, stabilitas postural, propriosepsi	Inisiasi fisioterapi lebih awal memberi perbaikan kekuatan, stabilitas, dan propriosepsi lebih baik
3	Li et al. (2025)	RCT	Pasien osteoarthritis lutut (KOA)	Low-intensity resistance training (LIRT) ± Blood Flow Restriction (BFR) (30%,50%,80% AOP)	tidak spesifik	Kekuatan otot, nyeri, propriosepsi (TTDPM)	BFR 80% menunjukkan peningkatan kekuatan, pengurangan nyeri, dan peningkatan propriosepsi terbesar
4	Gommers et al. (2024)	Observasional	Pasien pasca perbaikan ACL dengan DIS vs kontrol sehat	Perawatan/rehab pasca-DIS (observasional)	tidak spesifik	JPS (Biodex) dan performa fungsional	Performa fungsional mirip kontrol, tetapi propriosepsi (JPS) tetap lebih buruk pada pasien

5	Guede-Rojas et al. (2024)	Systematic review & meta-analysis	Pasien KOA (studi RCT yang menilai strength training)	Strength training	variasi antar studi	JPS, TTDPM, AMEDA	Latihan kekuatan meningkatkan beberapa aspek propriosepsi; heterogenitas tinggi (I^2 tinggi), effect size moderat
6	Góralczyk et al. (2024)	Observasional retrospektif	Pasien rekonstruksi ACL (suture-tape augmented repair vs ACLR konvensional)	Bedah: IB vs ACLR	tidak relevan	Laxity, JPS (Biodex), EMG/analisis gerak	Tidak ada perbedaan signifikan pada laxity dan JPS; ada perbedaan kecil pada pola aktivasi otot
7	Wang et al. (2023)	RCT	Atlet pasca-ACLR	Latihan kekuatan isokinetik vs alat pneumatik tradisional	4 minggu	Kekuatan otot (isokinetik), propriosepsi, keseimbangan	Peningkatan signifikan pada kekuatan quadriceps/hamstring dan beberapa parameter propriosepsi/keseimbangan
8	Kim JH et al. (2022)	Eksperimental	Pasien stroke (populasi non-ortho)	Latihan propriosepsi ± kinesio taping	4 minggu	BBS, JPS, gait parameters	Kombinasi taping + latihan meningkatkan keseimbangan, mengurangi kesalahan posisi sendi
9	Zhou et al. (2022)	Pilot RCT	Atlet bulutangkis elit	Kombinasi balance + pliometrik	durasi pendek (pilot)	COP (center of pressure), hop test, LSI	Peningkatan performa fungsional (hop, LSI) signifikan; tidak ada peningkatan signifikan pada COP (propriosepsi statik)
10	Arumugam et al. (2021)	Systematic review	Individu cedera ACL (mengulas 9 RCT NT)	Berbagai Neuromuscular Training (NT) (WBV, balance, backward walking dll.)	—	Beragam (JPS, TTDPM, dll.)	Bukti efektivitas NT terhadap propriosepsi masih low to very low ; heterogenitas besar
11	Wein et al. (2021)	Studi prospektif	Pasca-ACLR (follow-up 6 bulan)	Rehabilitasi standar	6 bulan	Posturography (rasio somatosensori/visual/vestibular)	Tidak ada perbaikan signifikan rasio somatosensori; pasien mengandalkan input visual (sensory reweighting)
12	Chaput et al. (2022)	Observasional dengan neuroimaging	Pasca-ACLR	Analisis kognisi visual dan integrasi sensorimotor	tidak spesifik	Neuroimaging, pengukuran propriosepsi, kognisi visual	Kemampuan visual-kognitif lebih baik berkorelasi negatif dengan kesalahan proprioseptif; bukti reorganisasi kortikal
13	Ciemniewska-gorzela & Kamilla (2021)	RCT	Pasca-ACLR (n≈40)	Rehabilitasi standar ± latihan proprioseptif tambahan	beberapa minggu (tidak spesifik)	Fungsi lutut, propriosepsi	Kedua kelompok membaik; tidak ada perbedaan signifikan antara kelompok (mungkin ceiling effect)
14	Süner-Keklik et al. (2021)	Cross-sectional	Pasca-ACLR (follow-up 2 tahun)	— (pengukuran fungsional)	hingga 2 tahun follow-up	Inclinometer pada posisi CKC (single-leg squat)	Propriosepsi di sisi direkonstruksi tetap lebih buruk dibanding kontrol sehat walau 2 tahun pasca operasi
15	Ghaderi et al. (2023)	RCT	Atlet pasca-ACLR (pria)	Neuromuscular Training (NT) : balance dinamis, core, CKC control	8 minggu (22 sesi)	Biodex (JPS)	Penurunan JPS error sebesar 51,7% (intervensi) vs 4,4% (kontrol), $p<0.001$

16	Shen et al. (2019)	RCT	Pasca-ACLR	Backward walking pada treadmill (0°, 5°, 10°, 15°)	4 minggu	ART, PMPT	Semua kelompok backward walking meningkat signifikan; efek terbesar pada kemiringan 10–15°
17	Guney-Deniz et al. (2019)	Case-control	Pasca-ACLR dengan berbagai jenis graft (n=87)	— (analisis pengaruh graft)	tidak spesifik	AJPS (active JPS), dinamometer isokinetik	Graft tendon quadriceps menunjukkan defisit proprioseptif signifikan pada terminal ekstensi (overshoot) dan kekuatan quadriceps lebih rendah
18	<i>Studi Diretrak si</i> (Computational & Mathematical Methods in Medicine)	Retraksi (tidak dipakai)	Pasien TKA (relevansi dengan proprioepsi)	Proprioception & balance training + continuous nursing	—	BBS, HSS (awalnya dilaporkan)	Artikel ditarik karena manipulasi publikasi — data tidak dapat dipercaya dan dikeluarkan dari sintesis

Diskusi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa latihan proprioseptif merupakan komponen kunci dalam rehabilitasi lutut pasca cedera *Anterior Cruciate Ligament (ACL)* maupun pada kondisi degeneratif seperti osteoarthritis lutut (KOA). Berdasarkan analisis sistematis terhadap 18 artikel yang direview, mayoritas penelitian (83%) melaporkan peningkatan signifikan dalam fungsi neuromuskular dan kemampuan proprioseptif setelah intervensi latihan yang melibatkan stimulasi sensorimotor, baik melalui pendekatan *neuromuscular training (NT)*, *balance exercise*, *backward walking*, maupun kombinasi dengan *mechanical stimulation* seperti *kinesio taping* dan *percussion massage therapy*. Hasil ini secara konsisten memperkuat pandangan bahwa pemulihan mekanik lutut pasca cedera atau operasi tidak akan optimal tanpa disertai pemulihan sensorimotor yang difasilitasi oleh latihan proprioseptif terarah. Dalam konteks ini, penelitian ini memperluas dan memperdalam pemahaman ilmiah tentang bagaimana latihan proprioseptif berfungsi sebagai katalis adaptasi neuromuskular melalui jalur *afferent-efferent* yang berperan dalam stabilitas sendi, kontrol motorik, serta integrasi sensorik.

Sejalan dengan temuan (Ghaderi et al., 2020) peningkatan proprioepsi hingga 51,7% setelah 8 minggu *neuromuscular training (NT)* menunjukkan bahwa latihan berulang dengan aktivasi otot sinergis dapat meningkatkan sensitivitas mekanoreseptor dan efisiensi komunikasi sistem saraf perifer dan pusat. Hasil ini selaras dengan konsep *neuromuscular adaptation* yang juga ditekankan oleh (Arumugam et al., 2021) meskipun kualitas bukti yang tersedia masih tergolong rendah karena heterogenitas instrumen pengukuran dan desain intervensi. Dengan demikian, studi ini memberikan bukti tambahan bahwa durasi, frekuensi, dan intensitas latihan merupakan determinan utama keberhasilan pemulihan proprioseptif. Artinya, pendekatan rehabilitasi yang menekankan pada latihan sensorimotor intensif dalam jangka waktu cukup panjang akan memberikan efek yang lebih konsisten terhadap pemulihan fungsi lutut dibanding latihan konvensional yang hanya menitikberatkan pada kekuatan mekanis otot.

Dari sisi mekanisme fisiologis, hasil ini dapat dijelaskan melalui teori *sensorimotor re-education* dan *neuroplasticity*, yang juga diangkat dalam penelitian (Chaput et al., 2022). Aktivitas latihan proprioseptif menstimulasi reseptor sendi (Ruffini, Golgi tendon, dan Pacinian corpuscles) serta meningkatkan aktivitas kortikal pada area integrasi sensorik, sehingga terjadi reorganisasi jaringan saraf pusat yang memperbaiki kontrol motorik dan keseimbangan postural. Hubungan negatif antara kemampuan kognitif-visual dengan kesalahan proprioseptif yang

ditemukan oleh Chaput menunjukkan bahwa latihan proprioseptif tidak hanya bersifat perifer, tetapi juga melibatkan proses integratif pada tingkat sistem saraf pusat. Dalam konteks ini, latihan yang menggabungkan unsur visual atau kognitif — seperti latihan berbasis *dual-task* — berpotensi meningkatkan hasil rehabilitasi, karena memperkuat integrasi antara input visual, vestibular, dan somatosensorik. Hal ini menegaskan bahwa pemulihan propriosepsi bersifat multidimensional dan tidak dapat dicapai melalui latihan tunggal yang berfokus pada kekuatan otot semata.

Penelitian (Shen et al., 2019) menambah dimensi penting dalam memahami efek latihan proprioseptif melalui pendekatan biomekanik. Latihan *backward walking* yang diterapkan pada treadmill dengan sudut kemiringan 10–15° terbukti paling efektif dalam meningkatkan propriosepsi lutut, karena menstimulasi aktivasi otot hamstring dan reseptor sensorik di sekitar sendi lutut. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa aktivitas *closed kinetic chain* (CKC) lebih efektif dibandingkan latihan *open-chain*, karena memberikan beban fungsional yang menyerupai aktivitas sehari-hari. Pola *dose-response* yang ditunjukkan dalam penelitian tersebut juga menunjukkan adanya hubungan antara intensitas mekanik dengan adaptasi neuromuscular. Dalam hal ini, latihan proprioseptif tidak hanya meningkatkan kesadaran posisi sendi tetapi juga memfasilitasi pembelajaran motorik baru yang memperkuat kontrol postural dan koordinasi gerakan kompleks.

Hasil yang diperoleh (Guney et al., 2019) dan (Gommers & Sierevelt, 2024). memberikan konteks penting mengenai keterbatasan pemulihan propriosepsi yang bersifat struktural. Meskipun pasien yang menjalani operasi ACL dengan metode *Dynamic Intraligamentary Stabilisation* (DIS) menunjukkan fungsi mekanis setara dengan individu sehat, propriosepsi mereka tetap lebih buruk secara signifikan. Hal ini menegaskan perbedaan mendasar antara pemulihan mekanik dan sensorik, serta menekankan perlunya program rehabilitasi yang menargetkan sistem sensorimotor secara spesifik. Selain itu, (Guney et al., 2019) juga menemukan bahwa pasien dengan graft tendon quadriceps mengalami defisit proprioseptif signifikan pada terminal ekstensi lutut. Fenomena *overshoot* pada sudut 15° ini menunjukkan bahwa kerusakan atau perubahan struktur reseptor pada lokasi graft dapat memengaruhi kemampuan proprioseptif. Oleh karena itu, rehabilitasi yang mempertimbangkan jenis graft dan mengarahkan latihan pada sudut-sudut fungsional tertentu menjadi penting untuk memastikan pemulihan yang lebih optimal dan individual.

Hasil penelitian lain seperti (Li et al., 2025) dan (Wang et al., 2023) menunjukkan hubungan langsung antara peningkatan kekuatan otot dengan perbaikan propriosepsi. Latihan resistif dengan *blood flow restriction* (BFR) sebesar 80% menunjukkan peningkatan kekuatan otot dan propriosepsi yang lebih besar dibanding intensitas lebih rendah. Hal ini mendukung hipotesis bahwa adaptasi neuromuscular bersifat stimulus-dependent, di mana intensitas dan frekuensi latihan menentukan derajat peningkatan aferen sensorik dan aktivasi otot. (Wang et al., 2023) juga menegaskan bahwa latihan isokinetik tidak hanya memperkuat otot quadriceps dan hamstring, tetapi juga memperbaiki koordinasi motorik dan persepsi posisi sendi. Dengan demikian, kombinasi latihan kekuatan dan proprioseptif dapat memberikan hasil sinergis terhadap pemulihan fungsi lutut, terutama pada pasien yang telah menjalani rekonstruksi ACL.

Pendekatan integratif juga terlihat dari studi (Kim et al., 2022) dan (Erayata, 2025) yang menambahkan stimulasi eksternal dalam latihan proprioseptif. Kombinasi *kinesio taping* dan latihan proprioseptif menghasilkan peningkatan keseimbangan dan pengurangan kesalahan posisi sendi yang signifikan. Hasil ini sejalan dengan efek *percussion massage therapy* (PMT) pada kelompok latihan pasca-ACLR yang juga memperlihatkan peningkatan diameter otot dan propriosepsi sendi. Kedua temuan tersebut memperkuat konsep bahwa stimulasi mekanik eksternal dapat memperkuat umpan balik sensorik (*afferent feedback*) dari jaringan otot, kulit, dan sendi, sehingga mempercepat adaptasi neuromuscular. Dengan demikian, penggunaan alat bantu sensorik seperti taping atau PMT dapat menjadi bagian efektif dari protokol rehabilitasi proprioseptif yang berbasis bukti ilmiah.

Temuan yang lebih konseptual disajikan oleh (Wein et al., 2021) dan (Ciemniewska-gorzela & Kamilla, 2021) yang menunjukkan bahwa pemulihan proprioepsi pasca rehabilitasi standar belum sepenuhnya optimal. (Wein et al., 2021) melaporkan bahwa setelah enam bulan rehabilitasi pasca-ACLR, pasien lebih mengandalkan input visual untuk menjaga keseimbangan, yang menunjukkan fenomena *sensory reweighting*. Sedangkan (Ciemniewska-gorzela & Kamilla, 2021) menemukan bahwa proprioepsi lutut tetap menurun signifikan dua tahun pascaoperasi, terutama saat pengukuran dilakukan dalam posisi fungsional *closed kinetic chain*. Kedua studi ini menegaskan bahwa meskipun fungsi mekanis dapat pulih, sistem sensorimotor membutuhkan latihan berkelanjutan untuk mempertahankan adaptasi jangka panjang. Hasil tersebut memiliki implikasi penting dalam desain program rehabilitasi jangka panjang yang tidak hanya berorientasi pada fase akut tetapi juga pada fase pemeliharaan fungsi sensorik.

Penelitian (Góralczyk & Piszczatowski, 2024) dan (Ciemniewska-gorzela & Kamilla, 2021) menunjukkan bahwa tidak semua perbedaan metode latihan menghasilkan perbedaan hasil proprioseptif yang signifikan. Dalam penelitian Góralczyk, perbedaan teknik bedah (IB vs ACLR) tidak memengaruhi hasil proprioepsi, sedangkan pada penelitian Ciemniewska, tambahan latihan proprioseptif tidak memberikan hasil lebih baik dibanding program standar. Hasil ini menunjukkan bahwa ketika dosis atau intensitas latihan tidak berbeda secara signifikan, maka hasil adaptasi neuromuscular juga tidak akan jauh berbeda. Hal ini menggarisbawahi pentingnya *dosing principle* dalam rehabilitasi, bahwa efektivitas intervensi bergantung pada intensitas dan frekuensi yang melampaui ambang adaptasi fisiologis.

Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini menegaskan bahwa latihan proprioseptif merupakan pendekatan kunci dalam optimalisasi fungsi neuromuskular lutut, khususnya pada pasien pasca cedera atau rekonstruksi *Anterior Cruciate Ligament (ACL)* dan penderita osteoarthritis lutut (KOA). Berdasarkan hasil *Systematic Literature Review (SLR)* terhadap 18 artikel ilmiah terkini (2019–2025), ditemukan bahwa 83% penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam proprioepsi, keseimbangan, dan kontrol motorik setelah menjalani intervensi latihan proprioseptif yang terarah. Temuan utama penelitian ini mengungkap bahwa efektivitas latihan proprioseptif sangat dipengaruhi oleh jenis latihan, durasi, intensitas, dan pendekatan sensorimotor yang digunakan, dengan hasil terbaik dicapai melalui integrasi latihan *neuromuscular training*, *balance exercise*, *closed-chain activity*, dan stimulasi sensorik eksternal seperti *kinesio taping* atau *percussion massage therapy*.

Secara teoritis, temuan ini memperkuat konsep neuromuscular adaptation, sensorimotor integration, dan neuroplasticity, yang menjelaskan bahwa latihan proprioseptif berulang tidak hanya memperkuat reseptor sendi dan otot di tingkat perifer, tetapi juga mendorong reorganisasi sistem saraf pusat untuk memperbaiki kontrol motorik dan stabilitas postural.

Secara praktis, hasil ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi fisioterapis, pelatih olahraga, dan profesional rehabilitasi untuk mengintegrasikan latihan proprioseptif sebagai inti dari program pemulihan fungsional, bukan sekadar komponen pelengkap. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi secara signifikan terhadap pengembangan ilmu rehabilitasi muskuloskeletal dan fisiologi olahraga, terutama dalam menjembatani hubungan antara pemulihan mekanik dan pemulihan sensorik pada sendi lutut.

Selain itu, penelitian ini memberikan bukti bahwa latihan proprioseptif efektif bila diterapkan secara multimodal, dengan mempertimbangkan variabel biomekanik (jenis graft, sudut sendi), fisiologis (intensitas dan frekuensi), serta kognitif (integrasi visual dan motorik). Hasil sintesis menunjukkan bahwa latihan berbasis *closed kinetic chain* menghasilkan peningkatan proprioepsi yang lebih signifikan dibanding *open-chain exercises*, sedangkan latihan dengan dosis dan intensitas yang tidak memadai cenderung menghasilkan efek minimal atau *ceiling effect*. Hal ini memperkuat urgensi pengembangan protokol latihan proprioseptif yang distandarkan dan berbasis bukti (*evidence-based protocol*).

Meskipun hasil penelitian ini memberikan pemahaman komprehensif, terdapat beberapa

keterbatasan yang perlu diperhatikan, antara lain heterogenitas desain intervensi, durasi penelitian yang singkat, dan ukuran sampel yang kecil pada sebagian besar studi. Oleh karena itu, penelitian di masa depan disarankan untuk:

1. Mengembangkan protokol latihan proprioseptif terstandar dengan mempertimbangkan durasi, intensitas, dan frekuensi latihan optimal untuk berbagai tingkat cedera.
2. Melakukan penelitian longitudinal jangka panjang untuk mengevaluasi efek retensi latihan proprioseptif terhadap pencegahan cedera ulang dan peningkatan performa fungsional.
3. Mengintegrasikan pengukuran fisiologis dan neurologis (misalnya EMG, neuroimaging, atau posturography) untuk memahami mekanisme neuroadaptasi yang mendasari peningkatan propriosepsi.
4. Memperluas populasi penelitian ke kelompok non-atlet, lansia, dan pasien dengan gangguan kronis untuk memperluas generalisasi hasil.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi konseptual dan aplikatif yang signifikan terhadap pengembangan model rehabilitasi lutut berbasis propriosepsi yang integratif dan berbasis bukti ilmiah, yang diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pemulihan neuromuscular dan menurunkan risiko cedera berulang secara berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Arumugam, A., Björklund, M., Mikko, S., & Häger, C. K. (2021). *Effects of neuromuscular training on knee proprioception in individuals with anterior cruciate ligament injury : a systematic review and GRADE evidence synthesis*. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-049226>
- Chaput, M., Onate, J. A., Simon, J. E., Criss, C. R., Jamison, S., McNally, M., & Grooms, D. R. (2022). *Visual cognition associated with knee proprioception , time to stability , and sensory integration neural activity after ACL reconstruction*. February 2021, 95–104. <https://doi.org/10.1002/jor.25014>
- Ciemniewska-gorzela, K., & Kamilla, B. (2021). *applied sciences Similar Outcomes and Satisfaction of the Proprioceptive versus Standard Training on the Knee Function and Proprioception , Following the Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*.
- Erayata, B. N. (2025). *Investigating the effects of percussion massage therapy on pain , functionality , muscle diameter , and proprioception in individuals with ACL reconstruction : a randomized controlled trial*. 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319731>
- Ghaderi, M., Letafatkar, A., Gus, T., & Keyhani, S. (2020). Clinical Biomechanics Neuromuscular training improves knee proprioception in athletes with a history of anterior cruciate ligament reconstruction : A randomized controlled trial. *Clinical Biomechanics*, 80(August), 105157. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2020.105157>
- Gommers, S. A., & Sierevelt, I. N. (2024). *Successful ACL repair by dynamic intraligamentary stabilisation is non - inferior in functional performance and worse in proprioception compared to healthy controls in a case - matched study*. September. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70047>
- Góralczyk, A., & Piszczatowski, S. (2024). *No difference in laxity , proprioception and neuromuscular control after suture - tape augmented ACL repair of acute proximal avulsions versus ACL reconstruction using hamstring autografts in young , active population*. June. <https://doi.org/10.1002/jeo2.70025>
- Guede-rojas, F., Benavides-villanueva, A., Salgado-gonz, S., Soto-martínez, A., Carvajal-parodi, C., Mendoza, C., & Alvarez, G. A.-. (2024). *Effect of strength training on knee proprioception in patients with knee osteoarthritis : A systematic review and meta-analysis*. 6(November 2023), 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2023.10.005>
- Guney, H., Gulcan, D., Defne, H., John, K., Mahmut, N., & Doral, N. (2019). Quadriceps tendon

- autograft ACL reconstructed subjects overshoot target knee extension angle during active proprioception testing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05795-7>
- Kim, J. H., Kim, K. H., Kim, D. H., Rehabilitation, C., Medizin, P., Kim, K. H., & Kim, D. H. (2022). *Effects of Proprioception Training with Kinesio Taping of the Knee Joints on the Proprioception , Balance , and Gait in Stroke Patients : A Single-Blind Randomized Trials Propriozeptives Training mit kinesiologischem Tape am Knie – Wirkung auf Propriozept.* 389–395. <https://doi.org/10.1055/a-1773-3923>
- Li, Y., Fu, S., Zhang, D., Liu, M., & Liu, H. (2025). *Effect of low-intensity resistance training at different levels of blood flow restriction on pain , proprioception and muscle strength in patients with knee osteoarthritis : a randomized controlled trial.*
- Shen, M., Che, S., Ye, D., Li, Y., Lin, F., & Zhang, Y. (2019). Effects of backward walking on knee proprioception after ACL reconstruction. *Physiotherapy Theory and Practice*, 00(00), 1–8. <https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1681040>
- Süner-Keklik. (2021). *Evaluation of proprioception in patients who underwent ACL reconstruction : measurement in functional position.* 51(4).
- Wang, K., Cheng, L., Wang, B., & He, B. (2023). *Effect of isokinetic muscle strength training on knee muscle strength , proprioception , and balance ability in athletes with anterior cruciate ligament reconstruction : a randomised control trial.* September, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1237497>
- Wein, F., Celli, L. P., Rooij, F. Van, Saffarini, M., & Perrin, P. (2021). No significant improvement in neuromuscular proprioception and increased reliance on visual compensation 6 months after ACL reconstruction. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 4–11. <https://doi.org/10.1186/s40634-021-00338-x>
- Zhou, L., Gong, W., Wang, S., Guo, Z., Liu, M., Chuang, S., & Bao, D. (2022). *Combined balance and plyometric training enhances knee function , but not proprioception of elite male badminton players : A pilot randomized controlled study.* August, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.947877>