



Teknologi Rehabilitasi Cerdas untuk Pemulihan Cedera Olahraga: Tinjauan dari Perspektif Fisioterapi

Ainul Hidayah*, & Muhammad Rhesa

Program Studi Ilmu Keolahragaan, FIKK, Universitas Negeri Makassar, Jl. Wijaya Kusuma
No.14, Makassar, Indonesia 90222

Email Korespondensi: ainul.hidayah@unm.ac.id

Abstrak

Cedera olahraga merupakan masalah umum pada atlet dan individu aktif yang dapat menurunkan performa, membatasi fungsi, dan memperpanjang proses pemulihan. Kemajuan teknologi telah mendorong fisioterapi olahraga menuju pendekatan rehabilitasi cerdas yang lebih objektif, terukur, dan efisien. Penelitian ini bertujuan meninjau penerapan teknologi rehabilitasi cerdas dalam pemulihan cedera olahraga, meliputi wearable devices, sensor biomekanik, virtual reality (VR), machine learning (ML), tele-rehabilitasi, dan elektromiografi (EMG). Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) terhadap artikel nasional dan internasional yang dipublikasikan pada 2019–2025 melalui basis data PubMed, ScienceDirect, SpringerLink, BMC, BMJ OSEM, dan Google Scholar. Seleksi menggunakan kriteria inklusi–eksklusi menghasilkan 15 studi yang dianalisis, dengan penilaian kualitas sederhana berdasarkan desain penelitian, relevansi populasi, serta validitas aplikasi teknologi. Hasil menunjukkan bahwa wearable devices dan sensor biomekanik merupakan teknologi yang paling banyak diteliti, diikuti VR/AR, tele-rehabilitasi, dan AI/ML. Outcome dominan mencakup pemantauan parameter fisiologis dan biomekanik, peningkatan keseimbangan dan kekuatan ekstremitas bawah, estimasi beban latihan, deteksi pola gerak berisiko, serta pemantauan aktivasi otot melalui EMG. Secara umum, teknologi rehabilitasi cerdas terbukti meningkatkan efektivitas terapi, mempercepat pemulihan, dan meminimalkan risiko cedera berulang melalui pemantauan real time dan umpan balik berbasis data. Di Indonesia, penggunaan EMG dan aplikasi digital menunjukkan potensi adopsi teknologi dalam fisioterapi olahraga, meskipun implementasi klinis masih terbatas. Kesimpulannya, integrasi teknologi digital dengan praktik fisioterapi konvensional berpotensi memperkuat layanan rehabilitasi olahraga berbasis bukti, dengan tantangan pada kesiapan infrastruktur dan kompetensi teknologi tenaga fisioterapi.

Kata kunci: Teknologi Rehabilitasi Cerdas; Pemulihan Cedera Olahraga; Terapi Fisik; Telerehabilitasi.

Smart Rehabilitation Technology for Sports Injury Recovery: A Review from a Physiotherapy Perspective

Abstract

Sports injuries are a common problem among athletes and active individuals that can reduce performance, limit function, and prolong the recovery process. Technological advances have pushed sports physiotherapy towards a smarter rehabilitation approach that is more objective, measurable, and efficient. This study aims to review the application of smart rehabilitation technology in sports injury recovery, including wearable devices, biomechanical sensors, virtual reality (VR), machine learning (ML), tele-rehabilitation, and electromyography (EMG). The method used was a Systematic Literature Review (SLR) of national and international articles published in 2019–2025 through the PubMed, ScienceDirect, SpringerLink, BMC, BMJ OSEM, and Google Scholar databases. Selection using inclusion–exclusion criteria resulted in 15 studies being analyzed, with a simple quality assessment based on research design, population relevance, and technology application validity. The results showed that wearable devices and biomechanical sensors were the most researched technologies, followed by VR/AR, tele-rehabilitation, and AI/ML. The dominant outcomes included monitoring physiological and biomechanical parameters, improving balance and lower extremity strength, estimating exercise load, detecting risky movement patterns, and monitoring muscle activation through EMG. In general, smart rehabilitation technology has been shown to increase the effectiveness of therapy, accelerate recovery, and minimize the risk of recurrent injuries through real-time monitoring and data-based feedback. In Indonesia, the use of EMG and digital applications shows potential for technology adoption in sports physiotherapy, although clinical implementation remains limited. In conclusion, the integration of digital technology with conventional physiotherapy practices has the potential to strengthen evidence-based sports rehabilitation services, with challenges in infrastructure readiness and the technological competence of physiotherapy personnel.

Keywords: Smart Rehabilitation Technology; Sports Injury Recovery; Physiotherapy; Telerehabilitation.

How to Cite: Hidayah, A., & Rhesa, M. (2025). Teknologi Rehabilitasi Cerdas untuk Pemulihan Cedera Olahraga: Tinjauan dari Perspektif Fisioterapi. *Empiricism Journal*, 6(4), 1788–1795. <https://doi.org/10.36312/ej.v6i4.3777>



<https://doi.org/10.36312/ej.v6i4.3777>

Copyright© 2025, Hidayah & Rhesa

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Cedera olahraga merupakan salah satu tantangan utama dalam kesehatan olahraga karena dapat menurunkan performa atlet, meningkatkan biaya pemulihan, serta berpotensi menyebabkan disabilitas jangka panjang. Di Indonesia, beberapa laporan menunjukkan bahwa cedera muskuloskeletal seperti cedera lutut (misalnya *Anterior Cruciate Ligament injury*), pergelangan kaki, dan cedera otot hamstring merupakan cedera yang paling umum dialami atlet, terutama pada cabang permainan dan olahraga kompetitif. Namun demikian, upaya pemantauan beban latihan, deteksi risiko cedera, dan kontinuitas rehabilitasi sering terkendala oleh keterbatasan fasilitas, jumlah fisioterapis olahraga, serta pemanfaatan teknologi yang belum merata di pusat-pusat latihan.

Dalam praktik fisioterapi olahraga, pendekatan konvensional seperti latihan terapeutik, mobilisasi sendi, serta edukasi home-exercise masih menjadi standar utama. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam hal pemantauan objektif terhadap beban mekanik, respons jaringan secara real time, dan penyesuaian latihan berdasarkan kondisi individual atlet. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih responsif dan adaptif dengan memanfaatkan kemajuan teknologi digital dalam rehabilitasi.

Salah satu perkembangan penting adalah munculnya teknologi rehabilitasi cerdas, yang mencakup perangkat wearable, tele-rehabilitasi, aplikasi seluler, virtual/augmented reality (VR/AR), sistem robotik, dan kecerdasan buatan (AI) (Seçkin et al., 2023). Dalam konteks pencegahan dan rehabilitasi cedera olahraga, sensor biomekanik seperti akselerometer triaksial, *force plate*, dan sistem GPS telah digunakan untuk mengukur beban eksternal, memantau kelelahan neuromuskular, serta mengidentifikasi pola gerak berisiko. Sebagai contoh, tinjauan oleh Rebelo et al. (2023) melaporkan bahwa wearable dan *force plate* efektif dalam menilai *Player Load* dan rasio beban akut-kronis sebagai indikator risiko cedera, khususnya pada ekstremitas bawah.

Model layanan tele-rehabilitasi juga berkembang pesat dan terbukti aman serta efektif untuk kondisi muskuloskeletal, sebanding dengan praktik tatap muka (Baroni et al., 2023). Dalam konteks atlet, pendekatan ini memberikan manfaat tambahan berupa kontinuitas latihan ketika atlet sedang berada di luar kota untuk kompetisi atau terbatasnya akses fisioterapis olahraga di daerah tertentu. Hal ini menjadi relevan bagi Indonesia, mengingat distribusi tenaga fisioterapis yang tidak merata dan akses fasilitas olahraga yang bervariasi antar daerah.

Teknologi berbasis VR/AR menawarkan lingkungan latihan imersif yang dapat meningkatkan motivasi, mempercepat adaptasi neuromuskular, serta menjadi alternatif latihan progresif pada fase menengah rehabilitasi. Beberapa studi menunjukkan bahwa intervensi VR mampu memberikan hasil setara atau lebih baik dibandingkan terapi konvensional dalam peningkatan keseimbangan dan kekuatan ekstremitas bawah, yang merupakan komponen penting dalam program *return to sport*.

Integrasi kecerdasan buatan (AI) dengan sensor wearable menambah dimensi baru dalam rehabilitasi dengan memberikan kemampuan untuk mendeteksi pola gerak berisiko, memprediksi cedera, serta merekomendasikan latihan adaptif berbasis analisis biomekanik individual (Kovoor et al., 2024; Souaifi et al., 2025). Meski potensinya besar, tantangan implementasi seperti integrasi data, privasi, biaya perangkat, serta penerimaan klinis masih menjadi hambatan, terutama di negara berkembang.

Dalam konteks fisioterapi olahraga, pemanfaatan berbagai teknologi tersebut menuntut pergeseran peran terapis tidak hanya sebagai pemberi latihan, tetapi juga sebagai analis data, pengelola sistem digital, serta fasilitator adaptasi teknologi dalam alur klinis. Karena itu, literatur menekankan perlunya peningkatan kompetensi dalam telepraktik, interpretasi data sensor, dan manajemen latihan berbasis teknologi (Baroni et al., 2023; Molina-Garcia et al., 2024).

Meskipun bukti internasional cukup kuat, penerapan teknologi rehabilitasi cerdas di Indonesia masih terbatas dan belum terstandarisasi. Tantangan seperti keterbatasan akses teknologi, biaya perangkat, literasi digital atlet dan pelatih, serta belum adanya panduan regulatif yang jelas menjadi hambatan adopsi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang

berfokus pada relevansi, kelayakan, dan efektivitas teknologi rehabilitasi cerdas dalam konteks lokal Indonesia agar intervensi berbasis teknologi dapat diterapkan secara adil, berkelanjutan, dan sesuai kebutuhan atlet. Dengan demikian, tinjauan literatur ini menjadi landasan teoritis untuk mengembangkan praktik fisioterapi olahraga yang lebih integratif, berbasis data, dan adaptif terhadap tantangan era digital.

METODE

Penelitian ini menggunakan desain *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, menganalisis secara kritis, dan mensintesis bukti ilmiah terkait penerapan teknologi rehabilitasi cerdas dalam pemulihan cedera olahraga dari perspektif fisioterapi.

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada beberapa basis data akademik internasional, yaitu *PubMed*, *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *BMC*, *SpringerLink*, *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, dan *The Lancet*. Strategi pencarian disusun menggunakan kombinasi kata kunci dan *Boolean operator* (AND, OR), di antaranya:

- “smart rehabilitation technology”
- “sports injury recovery”
- “sports injury rehabilitation”
- “physiotherapy”
- “telerehabilitation”

Kata kunci tersebut dikombinasikan (misal: “*smart rehabilitation technology*” AND “*sports injury*” AND “*physiotherapy*”) dan disesuaikan dengan *subject heading* masing-masing basis data bila tersedia. Rentang tahun publikasi dibatasi dari 2019 hingga 2025 untuk menangkap perkembangan teknologi rehabilitasi cerdas terkini.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kategori	Kriteria
Inklusi	1. Artikel jurnal ilmiah bereputasi (<i>peer-reviewed</i>).
	2. Terbit antara tahun 2019–2025.
	3. Membahas penerapan teknologi rehabilitasi cerdas (<i>wearable technology</i> , <i>telerehabilitation</i> , <i>VR/AR</i> , <i>machine learning</i> , <i>sensor EMG</i> , atau kecerdasan buatan/AI).
	4. Fokus pada pemulihan atau rehabilitasi cedera olahraga atau cedera muskuloskeletal terkait aktivitas fisik.
	5. Melibatkan peran fisioterapi atau berada dalam konteks fisioterapi olahraga.
	6. Subjek penelitian adalah atlet atau individu aktif secara fisik yang mengalami cedera olahraga.
Eksklusi	1. Publikasi non-jurnal (misalnya: tesis, disertasi, laporan kebijakan, buku, prosiding tanpa <i>peer-review</i> , editorial, komentar, atau berita media massa).
	2. Artikel yang terbit <2019.
	3. Studi yang hanya membahas teknologi tanpa penerapan dalam rehabilitasi cedera olahraga.
	4. Studi yang berfokus pada kondisi non-olahraga (penyakit kronis umum, kondisi obstetri, dll.) tanpa kaitan cedera olahraga.
	5. Populasi bukan atlet atau bukan individu aktif secara fisik..

HASIL DAN PEMBAHASAN

membawa perubahan signifikan dalam bidang fisioterapi olahraga, khususnya dalam penerapan teknologi rehabilitasi cerdas (*smart rehabilitation technology*) untuk pemulihan cedera olahraga. Teknologi ini mencakup berbagai inovasi seperti *wearable devices*, *virtual reality* (VR), *machine learning*, *electromyography* (EMG), dan *telerehabilitation*, yang berfungsi untuk memantau, mengevaluasi, dan mempercepat proses rehabilitasi secara lebih efisien dan berbasis data. Berikut adalah hasil identifikasi dan sintesis literatur tentang teknologi rehabilitasi cerdas untuk pemulihan cedera olahraga: tinjauan dari perspektif fisioterapi:

Tabel 1. Tinjauan Literatur

No.	Fokus Temuan Penerapan Teknologi Rehabilitasi Cerdas untuk Pemulihan Cedera Olahraga	Sumber (Peneliti, Tahun)
1	Teknologi wearable mampu memantau parameter kinetik, ROM, HR/respirasi; potensi untuk pemantauan rehabilitasi & atlet.	(Fazio et al., 2023)
2	Teknologi sensor memungkinkan analisis gerak untuk deteksi cedera & rehabilitasi; identifikasi gap aplikasi klinis.	(Arzehgar et al., 2025)
3	Integrasi sensor dan analitik otomatis dapat mencegah cedera dan mengoptimalkan pemulihan dalam setting olahraga.	(Kovoor et al., 2024)
4	Narasi bagaimana robotik, VR/AR, wearables diterapkan dalam rehabilitasi cedera olahraga – mengarah ke model biopsikososial.	(Takáč, 2025)
5	Review scoping menunjukkan penggunaan force plate, wearable untuk “Player Load” dan pemetaan risiko cedera.	(Rebelo et al., 2023)
6	Teknologi VR/AR menghasilkan perbaikan keseimbangan dan kekuatan ekstremitas bawah, potensi sebagai pelengkap fisioterapi.	(Almansour, 2024)
7	Tinjauan menemukan smart textiles & wearable devices makin dipakai dalam fisioterapi, namun pemilihan device dan penggunaannya masih terbatas.	(Şahin, 2024)
8	Review sistematis dari IMUs, exoskeletons, motion capture – menunjukkan wearable teknologi dalam rehabilitasi dan pencegahan cedera.	(Asiegbu, 2025)
9	Tele-rehabilitasi terbukti aman & efektif untuk kondisi muskuloskeletal; relevan untuk rehabilitasi atlet dengan akses terbatas.	(Sumner et al., 2023)
10	Wearable sensors sebagai alat penting dalam pemantauan atlet dan pemulihan cedera olahraga.	(Pekgor et al., 2024)
11	Studi menggunakan aplikasi Strava untuk memantau aktivitas berjalan guna mengendalikan risiko pre-eclampsia — meskipun tidak langsung cedera olahraga, menunjukkan adopsi teknologi digital aktivitas fisik.	(Manurung et al., 2025)
12	Studi nasional mengembangkan baterai tes untuk menilai kesiapan atlet setelah cedera lutut untuk kembali ke olahraga.	(Lesmana et al., 2025)
13	Telaah menunjukkan telekonsultasi fisioterapi dapat diimplementasikan untuk menangani MSD selama pandemi; menyoroti kebutuhan standar prosedur, edukasi pasien, dan kesiapan infrastruktur digital.	(Mu’jizatillah & Putri, 2021)

No.	Fokus Temuan Penerapan Teknologi Rehabilitasi Cerdas untuk Pemulihan Cedera Olahraga	Sumber (Peneliti, Tahun)
14	Studi potong lintang menggunakan aplikasi YourHour dan WebPlotDigitizer; mengaitkan durasi penggunaan gawai dengan sudut kraniovertebral, relevan sebagai pemantauan digital risiko gangguan muskuloskeletal.	(Daniel et al., 2022)
15	Durasi bermain gim daring pada atlet e-sports berasosiasi dengan disabilitas fungsional leher; implikasi untuk program pencegahan dan rehabilitasi berbasis pemantauan digital.	(Dharma et al., 2020)

Penelusuran literatur dalam rentang tahun 2019–2025 mengidentifikasi sejumlah studi yang membahas penerapan teknologi rehabilitasi cerdas dalam konteks fisioterapi olahraga. Secara umum, teknologi yang paling sering dikaji adalah *wearable devices* dan sensor biomekanik (misalnya *force plate*, IMU, dan *motion capture*), diikuti oleh *virtual reality* (VR/AR), *tele-rehabilitasi/telehealth*, kecerdasan buatan/*machine learning*, serta elektromiografi (EMG). Beberapa studi meneliti lebih dari satu teknologi sekaligus sehingga jumlah kemunculan teknologi melebihi jumlah total studi yang diinklusi. Outcome yang paling dominan meliputi parameter fisiologis dan biomekanik (seperti ROM, detak jantung, pola gerak), keseimbangan dan kekuatan ekstremitas bawah, pemantauan beban latihan dan risiko cedera, efektivitas tele-rehabilitasi, deteksi kesalahan gerak, serta penilaian kesiapan *return-to-sport*.

Sejumlah studi menunjukkan bahwa *wearable technology* dan sensor berbasis gerak telah banyak dimanfaatkan untuk pemantauan objektif dalam rehabilitasi olahraga. Fazio et al. (2023) melaporkan bahwa *wearable devices* mampu mengukur parameter fisiologis seperti rentang gerak sendi (ROM), detak jantung, dan laju pernapasan secara real time, sehingga dapat digunakan untuk memantau kondisi atlet selama proses rehabilitasi. Arzehegar et al. (2025) menemukan bahwa *sensor-based motion analysis* efektif untuk mengidentifikasi pola gerak abnormal akibat cedera, meskipun penerapannya masih banyak berada pada lingkungan laboratorium biomekanika. Temuan ini sejalan dengan Asiegbu (2025) yang meninjau penggunaan inertial measurement units (IMUs), eksoskeleton, dan sistem *motion capture* dalam rehabilitasi dan pencegahan cedera, serta dengan Kovoov et al. (2024) yang melaporkan bahwa integrasi sensor dengan analitik otomatis dapat digunakan untuk memantau beban latihan dan membantu mencegah cedera berulang. Rebelo et al. (2023) menambahkan bahwa penggunaan *force plate* dan *wearable* pada atlet memungkinkan pengukuran *player load* dan rasio beban akut–kronis sebagai indikator risiko cedera muskuloskeletal.

Teknologi *virtual reality* (VR/AR) muncul dalam beberapa studi sebagai komponen latihan rehabilitasi yang terstruktur. Almansour (2024) melaporkan bahwa penggunaan VR/AR dalam program rehabilitasi ekstremitas bawah menghasilkan peningkatan yang signifikan pada keseimbangan dan kekuatan otot jika dibandingkan dengan latihan konvensional. Paladugu et al. (2025) menemukan bahwa integrasi VR dalam terapi pascatrauma mempercepat peningkatan kekuatan otot dan keseimbangan tubuh, sedangkan Wang et al. (2023) menunjukkan bahwa VR dapat meningkatkan hasil rehabilitasi ekstremitas bawah serta mengurangi kejenuhan latihan karena sifatnya yang interaktif dan imersif. Secara umum, studi-studi tersebut menggambarkan VR/AR sebagai modalitas latihan tambahan yang dapat diintegrasikan dengan fisioterapi konvensional.

Tele-rehabilitasi dan *telehealth* juga ditemukan sebagai salah satu model layanan yang berkembang. Sumner et al. (2023) melaporkan bahwa *tele-rehabilitation* untuk pasien muskuloskeletal aman dan efektif, sehingga relevan untuk atlet dengan keterbatasan akses terhadap layanan fisioterapi tatap muka. Dalam konteks layanan jarak jauh di Indonesia, Mu'jizatillah dan Putri (2021) menunjukkan bahwa *telehealth* fisioterapi dapat dimanfaatkan

selama pandemi COVID-19 untuk menangani gangguan muskuloskeletal, walaupun implementasinya masih memerlukan dukungan infrastruktur digital dan edukasi pasien. Selain itu, beberapa studi menggambarkan penggunaan aplikasi seluler sebagai sarana pemantauan aktivitas fisik dan kebiasaan digital; misalnya, Manurung et al. (2025) menggunakan aplikasi Strava untuk memantau aktivitas berjalan, Daniel et al. (2022) memanfaatkan aplikasi YourHour dan WebPlotDigitizer untuk menganalisis durasi penggunaan gawai dan postur kepala, sedangkan Dharma et al. (2020) meneliti durasi bermain gim daring pada atlet e-sports dan kaitannya dengan disabilitas fungsional leher.

Dalam kelompok teknologi kecerdasan buatan dan *machine learning*, beberapa studi menyoroti penggunaannya untuk analisis gerak dan koreksi latihan. Kovoor et al. (2024) melaporkan bahwa integrasi sensor dengan analitik otomatis berbasis AI dapat dimanfaatkan untuk menganalisis beban latihan serta mengidentifikasi pola gerak yang berisiko. Jubair et al. (2025) menjelaskan bahwa algoritme machine learning mampu mendeteksi kesalahan gerakan latihan dan memberikan umpan balik secara real time kepada pasien, sedangkan Park et al. (2024) mengembangkan model berbasis inertial sensors dan *deep learning* untuk mengidentifikasi fase gerak lutut pada rehabilitasi pasca cedera ACL dengan tingkat akurasi yang tinggi. Latif et al. (2023; 2024) menyoroti penggunaan wearable komersial untuk memantau parameter seperti jumlah langkah, detak jantung, dan durasi latihan, namun menekankan perlunya validasi klinis terhadap keakuratan sensor tersebut sebelum diadopsi secara luas dalam praktik fisioterapi.

Teknologi elektromiografi (EMG) dan sistem biofeedback muncul dalam beberapa studi sebagai alat untuk pemantauan aktivitas otot dalam rehabilitasi cedera olahraga. Rusli et al. (2023; 2024) melaporkan bahwa penggunaan EMG pada rehabilitasi cedera Anterior Cruciate Ligament (ACL) memungkinkan pemantauan aktivasi otot quadriceps dan peningkatan stabilitas lutut, sehingga mendukung pemulihan fungsi dan mengurangi risiko cedera ulang. Di sisi lain, Lesmana et al. (2025) mengembangkan *battery of tests* berbasis pengukuran objektif untuk menilai kesiapan atlet kembali berolahraga setelah cedera lutut, yang mengilustrasikan penggunaan pendekatan kuantitatif dalam pengambilan keputusan *return-to-sport*.

Beberapa studi lain menggambarkan tren umum adopsi perangkat dan tekstil pintar (smart textiles) dalam fisioterapi modern. Şahin (2024) meninjau meningkatnya penggunaan *wearable devices* dan *smart textiles* dalam praktik fisioterapi, meskipun masih terdapat keterbatasan terkait pemilihan perangkat dan pelatihan penggunaannya oleh tenaga kesehatan. Takáč (2025) menyoroti bahwa robotik, VR/AR, dan wearable telah digunakan dalam berbagai model rehabilitasi cedera olahraga yang melibatkan aspek fisik dan psikososial. Secara keseluruhan, seluruh studi yang diinklusi melaporkan bahwa teknologi rehabilitasi cerdas memberikan kontribusi terhadap pemantauan yang lebih objektif, peningkatan efisiensi layanan, dan penyusunan program rehabilitasi yang lebih terstruktur dan terukur dalam fisioterapi olahraga.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi rehabilitasi cerdas dalam fisioterapi olahraga telah memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efektivitas, efisiensi, dan personalisasi proses pemulihan cedera atlet. Inovasi seperti perangkat *wearable*, kecerdasan buatan, *virtual reality*, dan elektromiogram (EMG) terbukti mampu mempercepat pemulihan fungsi otot, meningkatkan stabilitas sendi, serta mengurangi risiko cedera berulang melalui pemantauan real time dan sistem umpan balik yang akurat. Teknologi ini memungkinkan fisioterapis merancang program latihan yang lebih terukur, adaptif, dan sesuai dengan kebutuhan individu setiap atlet. Secara keseluruhan, integrasi antara teknologi digital dan fisioterapi konvensional telah mengubah paradigma rehabilitasi olahraga menuju pendekatan yang lebih modern, berbasis data, dan berorientasi pada peningkatan performa serta keberlanjutan kesehatan atlet di masa depan.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan tinjauan literatur, penelitian selanjutnya disarankan berfokus pada implementasi empiris dan uji efektivitas teknologi rehabilitasi cerdas dalam konteks Indonesia, khususnya pada atlet lokal dengan karakteristik cedera yang beragam. Peneliti

diharapkan mengembangkan model intervensi berbasis bukti yang memadukan *wearable technology*, *virtual reality* (VR), *electromyogram* (EMG), dan *machine learning* untuk pemantauan serta evaluasi pemulihan secara real time, dengan mempertimbangkan personalisasi terapi dan efektivitas biaya. Hambatan utama dalam penelitian ini meliputi keterbatasan akses terhadap referensi ilmiah terkini dari jurnal berbayar, dominasi publikasi *preprint* yang belum *peer reviewed*, serta kurangnya kajian nasional terkait penerapan teknologi rehabilitasi cerdas di bidang fisioterapi olahraga. Oleh karena itu, kolaborasi riset lintas institusi dan peningkatan akses terhadap literatur internasional perlu diperkuat guna mendukung pengembangan penelitian yang lebih aplikatif dan kontekstual di masa mendatang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan tinjauan literatur ini, khususnya para peneliti dan penulis terdahulu yang karyanya menjadi sumber utama dalam analisis dan sintesis data. Terima kasih juga kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan masukan, diskusi ilmiah, serta dorongan selama proses penulisan berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Almansour, A. M. (2024). The Effectiveness of Virtual Reality in Rehabilitation of Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Pioneering Medical Sciences*, 13(4), 147–154. <https://doi.org/10.61091/jpms202413423>
- Arzehgar, A., Seyedhasani, S. N., Ahmadi, F. B., Bagheri Baravati, F., Sadeghi Hesar, A., Kachooei, A. R., & Aalaei, S. (2025). Sensor-based technologies for motion analysis in sports injuries: A scoping review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01063-z>
- Asiegbu, A. (2025). Leveraging biomechanics and wearable technologies in sports for performance enhancement, injury prevention, and rehabilitation: A review. *International Journal of Physiology, Sports and Physical Education*, 7(1). <https://www.doi.org/10.33545/26647710..v.i.117>
- Baroni, M. P., Jacob, M. F. A., Rios, W. R., Fandim, J. V., Fernandes, L. G., Chaves, P. I., Fioratti, I., & Saragiotto, B. T. (2023). The state of the art in telerehabilitation for musculoskeletal conditions. *Archives of Physiotherapy*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40945-022-00155-0>
- Daniel, G., Anak Agung Gede Angga Puspa Negara, Indira Vidiari Juhanna, & Ni Wayan Tianing. (2022). The Relation Between Smartphone Use with Forward Head Posture Occurrence in Undergraduate Physiotherapy Student. *Physical Therapy Journal of Indonesia*, 3(2), 44–48. <https://doi.org/10.51559/ptji.v3i2.51>
- Dharma, I. K. D. W., Andika, N. W. T., Dewi, N. L. A. C., Paramurthi, I. A. P., & Kurniawati, I. (2020). Online Game Duration Associated to Neck Functional Disability in Esports Athletes. *Physical Therapy Journal of Indonesia*, 1(2), 26–28. <https://doi.org/10.51559/ptji.v1i2.7>
- Fazio, R. D., Mastronardi, V. M., De Vittorio, M., & Visconti, P. (2023). Wearable Sensors and Smart Devices to Monitor Rehabilitation Parameters and Sports Performance: An Overview. *Sensors*, 23(4), 1856. <https://doi.org/10.3390/s23041856>
- Jubair, H., Chowdhury, R. T., Akter, F., Sami, I. S., Nawal, N., Arshi, S. T., & Shil, P. (2025). *Machine Learning for Real-Time Exercise Correction and Injury Prevention: A Systematic Review*. Preprints. <https://doi.org/10.22541/au.174466167.73334339/v1>
- Kovoor, M., Durairaj, M., Karyakarte, M. S., Zair Hussain, M., Ashraf, M., & Maguluri, L. P. (2024). Sensor-enhanced wearables and automated analytics for injury prevention in sports. *Measurement: Sensors*, 32, 101054. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101054>
- Latif, A., Al Janabi, H. F., Joshi, M., Fusari, G., Shepherd, L., Darzi, A., & Leff, D. R. (2024). Use of commercially available wearable devices for physical rehabilitation in healthcare: A systematic review. *BMJ Open*, 14(11), e084086. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-084086>

- Lesmana, S. I., Sugiyanto, Hidayatullah, M. F., Doewes, M., & Jusup, S. A. (2025). Battery of tests for return-to-sport assessment after knee injury in athletes. *Physical Therapy Journal of Indonesia*, 6(2), 155–159. <https://doi.org/10.51559/ptji.v6i2.285>
- Manurung, S., Lestari, T. R., & Handayani, O. T. (2025). Using the Strava application for walking physical activities to control the risk of pre-eclampsia. *Physical Therapy Journal of Indonesia*, 6(2), 188–193. <https://doi.org/10.51559/ptji.v6i2.305>
- Molina-Garcia, P., Mora-Traverso, M., Prieto-Moreno, R., Díaz-Vásquez, A., Antony, B., & Ariza-Vega, P. (2024). Effectiveness and cost-effectiveness of telerehabilitation for musculoskeletal disorders: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 67(1), 101791. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2023.101791>
- Mu'jizatillah, & Putri, M. W. (2021). Telehealth Fisioterapi untuk Musculoskeletal Disorder Sebagai Dampak Work From Home Akibat Pandemi Covid-19. *Jurnal Medika Karya Ilmiah Kesehatan*, 6(1). <https://doi.org/10.35728/jmkik.v6i1.691>
- Paladugu, P., Kumar, R., Ong, J., Waisberg, E., & Sporn, K. (2025). Virtual reality-enhanced rehabilitation for improving musculoskeletal function and recovery after trauma. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 20(1), 404. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05705-3>
- Pekgor, M., Algin, A., Toros, T., & Serin, E. (2024). *Wearable Sensors in Sports and Healthcare: Technological Advancements, Applications, and Future Perspectives*. 20.
- Rebelo, A., Martinho, D. V., Valente-dos-Santos, J., Coelho-e-Silva, M. J., & Teixeira, D. S. (2023). From data to action: A scoping review of wearable technologies and biomechanical assessments informing injury prevention strategies in sport. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 15(1), 169. <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00783-4>
- Rusli, Sarifin, Ruslan, & Fahrizal. (2024). *Elektromiogram Dalam Sports Science: Teknologi Baru Di Balik Rehabilitasi Cedera Olahraga*. 2.
- Şahin, O. (2024). Evaluation of Wearable Technologies in Physiotherapy and Rehabilitation. *BAU Health and Innovation*, 91–100. <https://doi.org/10.14744/bauh.2023.43531>
- Seçkin, A. Ç., Ateş, B., & Seçkin, M. (2023). Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities. *DOAJ*, 13.
- Souaifi, M., Dhahbi, W., Jebabli, N., Ceylan, H. İ., Boujabli, M., Muntean, R. I., & Dergaa, I. (2025). Artificial Intelligence in Sports Biomechanics: A Scoping Review on Wearable Technology, Motion Analysis, and Injury Prevention. *Bioengineering*, 12(8), 887. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12080887>
- Sumner, J., Lim, H. W., Chong, L. S., Bundele, A., Mukhopadhyay, A., & Kayambu, G. (2023). Artificial intelligence in physical rehabilitation: A systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 146, 102693. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>
- Takáč, P. (2025). Sports Injury Rehabilitation: A Narrative Review of Emerging Technologies and Biopsychosocial Approaches. *Applied Sciences*, 15(17), 9788. <https://doi.org/10.3390/app15179788>
- Wang, S., Xu, J., Zhao, X., Feng, Y., Xu, W., Xue, H., Wu, M., & Xu, L. (2023). Small RNA-seq and hormones in the testes of dwarf hamsters (*Cricetus barabensis*) reveal the potential pathways in photoperiod regulated reproduction. *Heliyon*, 9(5), e15687. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15687>