https://e-journal.hamzanwadi.ac.id/index.php/porkes
Vol. 8, No. 2, Hal 919-931 Agustus 2025
Doi: 10.29408/porkes.v8i2.30357

Evaluating the Effectiveness of Technology in Sports Injury Prevention: A Systematic Review

Andy Widhiya Bayu Utomo*[1], Mohamad Ihsan Ashari[1], Kartika Septianingrum[1], Mohammad Zulpikri[2], Muh Muhtar Darmuliyono[2], Muh. Syamsul Arifin Hafiz[2]

[1]Program Studi Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, STKIP Modern Ngawi, [2]Universitas Hamzanwadi. Indonesia

*Correspondence: andywbu@stkipmodernngawi.ac.id

Abstract

Technological advances such as wearables, biomechanical analysis and artificial intelligence (AI) offer promising solutions in sports injury prevention. This study aims to evaluate the effectiveness of these technologies in reducing injury risk and improving athlete health. This study aims to assess the role of wearables, biomechanical analysis and AI in sports injury prevention, focusing on injury risk prediction, real-time monitoring and rehabilitation. The method used was a systematic literature review by analyzing data from peer-reviewed scientific articles, conference papers, and reports published in the last decade. The focus of this review was wearable technology, biomechanical systems, and AI applications. Data searches were conducted using related keywords, and data analysis was performed qualitatively by categorizing studies based on technology type and injury prevention goals. The results showed that wearable devices such as accelerometers and heart rate monitors can reduce micro-injuries by providing real-time physiological and biomechanical data. AI systems integrated with wearables improve the accuracy of injury risk prediction. However, the effectiveness of this technology is still limited in preventing severe injuries such as ligament tears and fractures.

Keyword: Biomechanical analysis; artificial intelligence; sports injury prevention; injury prediction; wearable technology

Abstrak

Kemajuan teknologi seperti perangkat wearable, analisis biomekanik, dan kecerdasan buatan (AI) menawarkan solusi menjanjikan dalam pencegahan cedera olahraga. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas teknologi-teknologi tersebut dalam mengurangi risiko cedera dan meningkatkan kesehatan atlet. Penelitian ini bertujuan untuk menilai peran perangkat wearable, analisis biomekanik, dan AI dalam pencegahan cedera olahraga, dengan fokus pada prediksi risiko cedera, pemantauan secara real-time, dan rehabilitasi. Metode yang digunakan adalah tinjauan literatur sistematis (systematic literature review) dengan menganalisis data dari artikel ilmiah peer-reviewed, makalah konferensi, dan laporan yang diterbitkan dalam satu dekade terakhir. Fokus tinjauan ini adalah teknologi wearable, sistem biomekanik, dan aplikasi AI. Pencarian data dilakukan menggunakan kata kunci terkait, dan analisis data dilakukan secara kualitatif dengan mengkategorikan studi berdasarkan jenis teknologi dan tujuan pencegahan cedera. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perangkat wearable seperti akselerometer dan monitor detak jantung dapat mengurangi cedera mikro dengan memberikan data fisiologis dan biomekanik secara real-time. Sistem AI yang terintegrasi dengan perangkat wearable meningkatkan akurasi prediksi risiko cedera. Namun, efektivitas teknologi ini masih terbatas dalam mencegah cedera berat seperti robekan ligamen dan patah tulang.

Kata kunci: Analisis biomekanik; kecerdasan buatan; pencegahan cedera olahraga; prediksi cedera; teknologi wearable

Received: 18 Mei 2025 | Revised: 18 Mei, 9, 22 Juni 2025
Accepted: 27 Juni 2025 | Published: 30 Juni 2025

Jurnal Porkes is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License.

Pendahuluan

Olahraga merupakan bagian penting dalam meningkatkan kebugaran fisik dan kesejahteraan mental. Namun, atlet sering menghadapi risiko cedera yang dapat mengganggu performa dan kualitas hidup mereka secara keseluruhan. Cedera olahraga, baik yang bersifat akut maupun kronis, sering terjadi akibat faktor seperti latihan berlebihan, teknik yang kurang tepat, atau kondisi fisik individu yang tidak terdeteksi (Dawson et al., 2024). Cedera yang tidak ditangani dengan baik dapat menyebabkan konsekuensi jangka panjang yang berdampak pada karier atlet dan kemampuan mereka untuk berkompetisi di masa depan (Monsonís et al., 2021). Mengingat pentingnya pencegahan cedera dalam menjaga performa dan masa depan atlet, sangat penting untuk mengeksplorasi strategi dan teknologi praktis yang dapat mengurangi risiko cedera (Huebner et al., 2020).

Kemajuan teknologi telah mengubah lanskap pencegahan cedera olahraga dengan menyediakan alat inovatif untuk memantau, menganalisis, dan memprediksi risiko cedera (Kim & Ko, 2019). Intensitas aktivitas fisik yang meningkat dan kompleksitas performa atletik membuat atlet lebih rentan terhadap berbagai jenis cedera (Alyami et al., 2023). Sebagai respon terhadap tantangan ini, perangkat wearable, sistem berbasis komputer, dan alat analisis biomekanik telah diintegrasikan ke dalam dunia olahraga sebagai solusi untuk meningkatkan keselamatan dan performa (Potthast, 2024). Kemajuan teknologi ini memungkinkan pemantauan secara real-time terhadap respons fisiologis, pola gerakan, dan beban latihan atlet sehingga intervensi yang personal dan tepat dapat dilakukan untuk mencegah cedera (Benson et al., 2020).

Perangkat wearable muncul sebagai alat penting dalam pencegahan cedera olahraga. Perangkat ini, yang dilengkapi dengan akselerometer, giroskop, dan unit pengukuran inersia (IMU), memungkinkan pelacakan data biomekanik dan pola gerakan secara real-time. Dengan mendeteksi gerakan yang tidak tepat dan beban berlebihan, perangkat wearable membantu memprediksi risiko cedera seperti keseleo, terkilir, dan overuse pada sendi (Willwacher et al., 2022). Selain itu, monitor detak jantung dapat mengukur respons fisiologis atlet selama latihan dan pemulihan, memberikan informasi tentang tingkat kelelahan. Data ini dapat digunakan untuk mengurangi risiko latihan berlebihan dan memastikan atlet berlatih dalam batas fisiologis optimal mereka (Flatt & Esco, 2016). Dengan demikian, perangkat wearable menyediakan informasi yang diperlukan bagi atlet dan pelatih untuk menyesuaikan program latihan, periode pemulihan, dan beban kerja guna mengurangi kemungkinan cedera (Restrepo-Villamizar et al., 2020).

Sistem berbasis komputer semakin meningkatkan upaya pencegahan cedera. Sistem ini menggunakan kamera dan algoritma canggih untuk memantau postur dan gerakan atlet selama latihan dan kompetisi (Orangi et al., 2021). Dengan memberikan umpan balik langsung, sistem ini memungkinkan tindakan korektif untuk mencegah pola gerakan yang salah yang dapat menyebabkan cedera (Buckthorpe, 2019). Selain itu, teknologi kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (ML) telah merevolusi prediksi cedera dengan menganalisis data besar untuk mendeteksi pola dan korelasi yang berkaitan dengan risiko cedera. Algoritma AI dapat mengidentifikasi kerentanan individu sehingga rencana latihan dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik atlet (Jauhiainen et al., 2021; Kaul & Khurana, 2021). Melalui analisis data

yang terus menerus, sistem AI dan ML dapat memprediksi dan mencegah cedera dengan menyesuaikan latihan berdasarkan kondisi real-time dan tren jangka panjang (Jauhiainen et al., 2021; Van-Eetvelde et al., 2021).

Alat analisis biomekanik, termasuk force plate dan sistem motion capture, berperan penting dalam pencegahan cedera olahraga. Force plate menilai mekanika gerakan atlet, terutama saat aktivitas menahan beban. Teknologi ini membantu mengevaluasi tekanan pada sendi seperti lutut dan pergelangan kaki, memungkinkan pencegahan cedera yang terkait dengan beban yang tidak tepat dan kelelahan (Rebelo et al., 2023). Sementara itu, sistem motion capture yang dulu digunakan di laboratorium kini sudah terintegrasi dengan teknologi wearable sehingga penilaian biomekanik dapat dilakukan di lapangan. Kombinasi alat ini memungkinkan strategi pencegahan cedera yang lebih komprehensif dan disesuaikan dengan atlet, sehingga beban latihan dapat disesuaikan dengan kapasitas fisik masing-masing atlet (Vellios et al., 2020).

Selain teknologi wearable dan analisis biomekanik, AI dan big data juga menjadi sangat berharga dalam pencegahan cedera. Dengan mengumpulkan data besar dari perangkat wearable, pelatih dan profesional medis dapat menggunakan algoritma prediktif untuk menilai risiko cedera dengan lebih akurat. Teknik pembelajaran mesin seperti model *long short-term memory* (LSTM) dapat memprediksi cedera berdasarkan data historis dan parameter fisiologis (Seshadri et al., 2019). Pendekatan berbasis AI memungkinkan deteksi dini risiko cedera, sehingga intervensi dapat dilakukan tepat waktu untuk mencegah cedera sebelum terjadi. Selain itu, AI dapat membantu membuat program latihan personal dengan menganalisis pola data individu atlet, menjadikan regimen latihan lebih efektif dan terarah (Mishra et al., 2024; Shah et al., 2025).

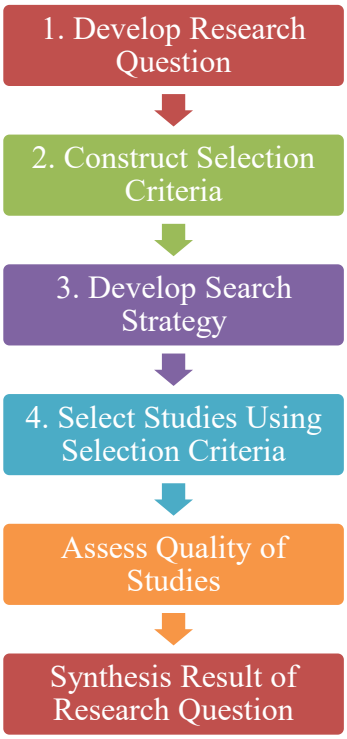
Meskipun potensi besar teknologi ini, penerapan program pencegahan cedera olahraga menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu tantangan utama adalah validasi dan reliabilitas teknologi. Meskipun banyak perangkat dan sistem menunjukkan potensi signifikan, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memastikan efektivitas klinis dan generalisasi dalam konteks dunia nyata (Boden et al., 2024). Selain itu, integrasi teknologi ini dalam praktik rutin memerlukan perhatian terhadap kepatuhan pengguna, pelatihan yang memadai bagi pelatih dan atlet, serta kelayakan adopsi teknologi dalam program olahraga yang ada (Willwacher et al., 2022). Oleh karena itu, meskipun inovasi teknologi telah banyak berkontribusi pada pencegahan cedera, keberhasilan penggunaannya secara luas akan bergantung pada pemecahan hambatan praktis ini serta penelitian validasi lanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk secara sistematis meninjau dan mengevaluasi efektivitas berbagai teknologi, termasuk perangkat wearable, analisis biomekanik, dan kecerdasan buatan, dalam mengurangi risiko cedera olahraga dan membantu proses pemulihan atlet. Dengan mempelajari teknologi-teknologi ini, penelitian ini berupaya memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai dampaknya serta mengidentifikasi tantangan yang terkait dengan penerapannya. Selain itu, penelitian ini juga mengeksplorasi teknologi baru seperti sensor kuantum dan nanoteknologi yang masih dalam tahap pengembangan namun menunjukkan potensi besar untuk masa depan (Van-Eetvelde et al., 2021; Zhang et al., 2023). Walaupun literatur yang ada menyoroti potensi teknologi seperti perangkat wearable, analisis biomekanik, dan AI dalam mengurangi risiko cedera (Dawson et al., 2024; Liu & Zhang, 2022; Seshadri et

al., 2021), masih terdapat celah riset terkait penerapannya dalam program latihan yang personal. Penelitian ini berusaha menjembatani celah tersebut dengan mengkaji bagaimana teknologi ini dapat diintegrasikan secara efektif dalam protokol pelatihan dan rehabilitasi yang ada. Akhirnya, penelitian ini akan memberikan rekomendasi untuk penelitian di masa depan serta peningkatan integrasi teknologi dalam pencegahan dan rehabilitasi cedera olahraga

Metode

Penelitian ini menggunakan desain tinjauan literatur sistematis (systematic literature review/SRL) untuk mengevaluasi efektivitas berbagai teknologi dalam pencegahan cedera olahraga. Metode tinjauan sistematis dipilih karena kemampuannya dalam mengumpulkan dan mensintesis berbagai studi relevan secara menyeluruh, sehingga menghasilkan evaluasi yang komprehensif, objektif, dan transparan terhadap literatur yang ada. Pendekatan ini memastikan analisis yang terstruktur terhadap bukti yang tersedia, yang sangat penting untuk menentukan efektivitas perangkat wearable, analisis biomekanik, kecerdasan buatan (AI), dan teknologi rehabilitasi dalam mencegah cedera olahraga. Dengan mengikuti pendekatan yang terstruktur ini, penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi efektivitas aplikasi teknologi yang berbeda, memantau penerapannya dalam konteks nyata, serta mengungkapkan celah-celah utama dalam literatur yang ada (Zawacki-Richter et al., 2020).



Gambar 1. Prosedur tinjauan literatur yang sistematis

Desain penelitian ini merupakan sintesis kualitatif dari literatur yang ada, dilakukan sesuai dengan pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Nota et al., 2021). Pendekatan tinjauan sistematis ini memungkinkan identifikasi, seleksi, dan sintesis studi yang memenuhi kriteria inklusi tertentu terkait penggunaan teknologi

dalam pencegahan cedera olahraga. Studi-studi yang dipublikasikan dalam jurnal peer-reviewed, makalah konferensi, dan buku akan disertakan untuk memberikan basis bukti yang mencerminkan kondisi terkini kemajuan teknologi di bidang ini.

Kriteria Inklusi

Sampel dalam penelitian ini terdiri dari artikel akademik peer-reviewed, laporan, dan literatur ilmiah lain yang berhubungan dengan penggunaan teknologi dalam pencegahan cedera olahraga. Kriteria inklusi yang digunakan adalah:

1. Tanggal Publikasi: Studi yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir untuk memastikan relevansi dengan kemajuan teknologi saat ini.
2. Bahasa: Studi yang dipublikasikan dalam bahasa Inggris, karena mayoritas literatur terkait tersedia dalam bahasa tersebut.
3. Fokus: Studi yang berfokus pada perangkat wearable, analisis biomekanik, aplikasi AI, atau teknologi rehabilitasi dalam konteks pencegahan cedera, pemantauan, atau rehabilitasi olahraga.
4. Metodologi: Studi yang menggunakan data empiris, seperti uji klinis, penelitian eksperimental, dan studi observasional. Studi ulasan, opini, dan teori dikecualikan.

Strategi Pencarian

Pencarian awal dilakukan di beberapa basis data akademik, termasuk *PubMed, Scopus, IEEE Xplore,* dan *Google Scholar*. Sampel akhir ditentukan setelah menerapkan kriteria inklusi untuk menyaring studi yang relevan. Protokol pencarian menggunakan kata kunci seperti "*sports injury prevention*," "*wearable technology*," "*biomechanics*," "*artificial intelligence in sports*," dan "*rehabilitation technologies*" untuk menemukan studi yang sesuai di database tersebut. Ekstraksi data template terstruktur digunakan untuk mengekstraksi data kunci dari setiap studi, meliputi.

1. Jenis teknologi yang dipelajari (misalnya perangkat wearable, AI, analisis biomekanik).
2. Metodologi yang digunakan dalam studi.
3. Temuan utama terkait pencegahan cedera atau rehabilitasi.
4. Keterbatasan studi.
5. Konteks aplikasi teknologi (misalnya olahraga profesional, atlet rekreasional, atau cabang olahraga tertentu).

Analisis Data

Analisis data mengikuti pendekatan sintesis kualitatif, di mana temuan dari studi yang termasuk dikategorikan secara tematik. Studi dikelompokkan berdasarkan jenis teknologi (perangkat wearable, AI, analisis biomekanik) dan tujuan utama teknologi tersebut (pencegahan cedera, rehabilitasi). Langkah-langkah analisis meliputi.

1. Kategorisasi: Studi dikategorikan berdasarkan teknologi yang dibahas, dengan tema yang diidentifikasi berdasarkan hasil (misalnya efektivitas dalam mencegah jenis cedera tertentu, dampak pada waktu pemulihan).
2. Sintesis: Temuan kunci dari studi disintesis untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang penerapan setiap teknologi dalam pencegahan cedera olahraga, menyoroti kelebihan dan keterbatasan. Sintesis ini memungkinkan identifikasi tren umum, celah, dan peluang riset di masa depan.

3. Evaluasi Kritis: Setiap studi dievaluasi secara kritis untuk menilai kualitas metodologis, reliabilitas, dan generalisasi hasil. Studi dengan kualitas metodologis lebih tinggi diberi bobot lebih dalam sintesis agar kesimpulan lebih kuat.

Pertimbangan Etis

Karena penelitian ini berbasis tinjauan literatur, tidak ada pertimbangan etis langsung terkait partisipan manusia. Namun, standar etis dalam melakukan tinjauan sistematis akan dijalankan dengan ketat untuk menjamin transparansi dan replikabilitas metodologi. Kutipan dan pengakuan terhadap semua sumber akan dijaga untuk menghindari plagiarisme dan menjaga integritas akademik sepanjang proses tinjauan. Dengan mengikuti metodologi yang komprehensif ini, penelitian bertujuan memberikan evaluasi objektif dan mendalam mengenai peran teknologi dalam pencegahan cedera olahraga, sekaligus memberikan wawasan berharga bagi pengembangan dan penerapan teknologi tersebut di dunia olahraga.

Hasil

Integrasi teknologi dalam pencegahan cedera olahraga telah menghasilkan kemajuan signifikan dalam pemantauan kesehatan atlet dan prediksi risiko cedera. Berbagai teknologi, termasuk perangkat wearable, sistem sensor, algoritma pembelajaran mesin, dan platform digital, menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam mengurangi cedera. Namun, efektivitasnya bervariasi tergantung pada jenis cedera dan teknologi yang digunakan.

Perangkat Wearable dan Pemantauan Real-Time

Perangkat wearable seperti monitor detak jantung, akselerometer, dan giroskop menjadi alat penting untuk pemantauan real-time terhadap parameter fisiologis dan biomekanik atlet. Perangkat ini memantau metrik seperti detak jantung, pola gerakan, dan beban fisik selama latihan dan kompetisi, yang sangat penting untuk mengidentifikasi tanda-tanda awal ketegangan atau kelelahan. Studi menunjukkan bahwa perangkat wearable secara signifikan mengurangi cedera mikro dengan memungkinkan penyesuaian beban latihan secara personal berdasarkan data real-time (Benson et al., 2020). Secara spesifik, perangkat ini memantau percepatan, kecepatan, dan jarak tempuh, yang membantu pelatih dan profesional medis mendeteksi tanda-tanda kelelahan berlebihan atau pola gerakan abnormal. Misalnya, akselerometer menilai pergerakan sendi dan aktivasi otot, memberikan wawasan tentang performa dan biomekanik atlet (Van-Eetvelde et al., 2021).

Kemampuan prediktif perangkat wearable semakin ditingkatkan dengan integrasi algoritma pembelajaran mesin. Sistem ini menganalisis data dari sensor untuk mendeteksi pola gerakan abnormal, seperti gaya lari yang salah atau beban sendi yang tidak normal, yang dapat menyebabkan cedera seiring waktu. Studi melaporkan tingkat akurasi tinggi, dengan beberapa sistem prediksi mencapai akurasi hingga 92,1% dalam mengidentifikasi pola gerakan yang salah yang dapat menyebabkan cedera (Seshadri et al., 2021). Namun, meskipun perangkat wearable efektif dalam mendeteksi cedera mikro, teknologi ini kurang efektif dalam mencegah cedera berat seperti robekan ligamen atau patah tulang, yang sering melibatkan trauma dengan dampak tinggi (Benson et al., 2020).

Sensor Fleksibel dan Teknologi Kuantum

Kemajuan terkini dalam sensor fleksibel, terutama yang terintegrasi dengan sinaps buatan dan pembelajaran mesin, menawarkan pendekatan yang lebih maju untuk pencegahan cedera. Sensor ini sangat sensitif dan mampu mendeteksi anomali biomekanik seperti pola gerakan yang salah atau ketidakseimbangan otot, yang merupakan indikator awal potensi cedera (Seshadri et al., 2021). Sensor ini telah menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam memprediksi risiko cedera, dengan tingkat keberhasilan 92,1% dalam memprediksi cedera berdasarkan pola gerakan.

Sensor kuantum muncul sebagai teknologi yang menjanjikan dalam biomekanik olahraga, dengan potensi untuk memprediksi cedera melalui analisis data biomekanik terperinci, seperti gaya reaksi tanah dan kecepatan gerakan. Namun, meskipun sensor ini menjanjikan, masih ada tantangan dalam mengidentifikasi prediktor cedera yang andal secara konsisten. Penerapan praktisnya dalam pencegahan cedera olahraga memerlukan pengembangan dan penelitian lebih lanjut untuk memvalidasi efektivitasnya dalam kondisi nyata (Zhang, 2024).

Analisis Biomekanik dan Platform Digital

Sistem motion capture dan teknologi analisis biomekanik memainkan peran penting dalam pencegahan cedera dengan menganalisis sistem muskuloskeletal atlet. Sistem ini memberikan penilaian rinci terhadap kinematika sendi, koordinasi otot, dan distribusi gaya, membantu mengidentifikasi ketidakseimbangan gerakan atau biomekanik yang salah yang dapat menyebabkan cedera. Misalnya, sistem motion capture 3D dapat melacak gerakan atlet dalam ruang tiga dimensi, mendeteksi asimetri atau mekanika yang tidak efisien secara real-time (Lv, 2024). Sistem ini sangat berguna untuk mendiagnosis masalah postur, teknik pendaratan yang salah, atau gerakan sendi yang tidak seimbang, yang merupakan faktor risiko cedera muskuloskeletal.

Teknologi analisis biomekanik, ketika diintegrasikan dengan sensor wearable, memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi fisik atlet. Kombinasi ini membantu pelatih dan profesional medis merancang strategi pencegahan cedera yang disesuaikan dengan kebutuhan individu, memastikan bahwa regimen latihan meminimalkan risiko cedera sekaligus mengoptimalkan performa (Liu & Zhang, 2022).

Pelatihan dan Simulasi Virtual

Teknologi realitas virtual (VR) dan augmented reality (AR) merevolusi pencegahan cedera olahraga dengan menciptakan lingkungan pelatihan yang imersif dan adaptif. Teknologi ini memungkinkan atlet untuk berlatih dalam skenario simulasi yang menyerupai situasi nyata tanpa risiko fisik yang terkait. Studi menunjukkan bahwa VR dan AR dapat meningkatkan waktu reaksi dan koordinasi motorik sekaligus mengurangi risiko cedera dengan mempromosikan teknik dan pola gerakan yang benar selama latihan (Fricke et al., 2024). Dengan menggabungkan pelatihan virtual dan data real-time dari perangkat wearable, teknologi ini dapat terus menyesuaikan beban latihan berdasarkan kondisi atlet, menjadikannya alat yang efektif untuk pencegahan cedera.

Efektivitas dan Keterbatasan

Efektivitas teknologi ini dalam mencegah cedera mikro seperti ketegangan, keseleo, dan cedera overuse telah terbukti baik. Perangkat wearable dan sistem sensor terbukti secara signifikan mengurangi jenis cedera ini dengan memberikan umpan balik secara real-time dan

menyesuaikan beban latihan sesuai kebutuhan (Benson et al., 2020). Selain itu, analitik prediktif yang didukung pembelajaran mesin meningkatkan kemampuan mendeteksi risiko cedera sebelum terjadi, memungkinkan intervensi yang tepat waktu (Seshadri et al., 2021).

Namun, kemampuan teknologi ini untuk mencegah cedera berat seperti robekan ligamen, patah tulang, atau gegar otak masih terbatas. Meskipun model prediktif menunjukkan akurasi tinggi dalam mendeteksi pola gerakan yang salah, teknologi ini lebih berfokus pada cedera akibat penggunaan berlebihan atau teknik yang salah, bukan cedera akibat trauma dengan dampak tinggi (Van-Eetvelde et al., 2021). Keterbatasan ini menegaskan perlunya penelitian lanjutan untuk mengembangkan sistem yang dapat mencegah cedera berat dan menangani skenario trauma dengan dampak tinggi.

Tantangan dalam Implementasi dan Adopsi Teknologi

Meskipun hasil yang menjanjikan, terdapat beberapa tantangan dalam adopsi luas teknologi ini. Salah satu keterbatasan utama adalah kurangnya validasi klinis yang kuat untuk banyak perangkat dan sistem. Walaupun akurasi model prediktif dan perangkat wearable telah terbukti dalam lingkungan terkendali, efektivitasnya dalam kondisi dunia nyata masih kurang dieksplorasi (Benson et al., 2020). Uji klinis dan studi longitudinal sangat diperlukan untuk menilai efektivitas jangka panjang teknologi ini dan memvalidasi penggunaannya secara klinis.

Tantangan lain adalah kepatuhan pengguna terhadap program pencegahan cedera. Atlet dan pelatih sering merasa program pencegahan cedera yang siap pakai terlalu memakan waktu atau kurang spesifik untuk cabang olahraga tertentu. Untuk meningkatkan kepatuhan dan efektivitas, program pencegahan cedera perlu disesuaikan dengan kebutuhan individu atlet, menarik, dan terintegrasi dalam rutinitas latihan mereka (Zhang et al., 2023). Hambatan di dunia nyata seperti keterbatasan waktu, kurangnya pengetahuan, dan tantangan motivasi juga harus diatasi agar penerapan teknologi pencegahan cedera berhasil (Dawson et al., 2024).

Pembahasan

Evaluasi teknologi dalam pencegahan cedera olahraga berfokus pada faktor-faktor kunci seperti jenis teknologi yang digunakan, integrasinya dalam praktik olahraga yang ada, kemampuan teknologi dalam mendeteksi dan memprediksi cedera, serta aplikabilitasnya di dunia nyata. Seiring perkembangan teknologi yang terus berlanjut, penting untuk mengeksplorasi kekuatan, keterbatasan, dan arah pengembangan alat-alat ini ke depan.

Efektivitas dalam Mengurangi Cedera Mikro

Salah satu aspek paling menjanjikan dari teknologi pencegahan cedera olahraga adalah kemampuannya dalam mengurangi cedera mikro, yang umum terjadi akibat gerakan berulang dan penggunaan berlebihan selama latihan atau kompetisi. Perangkat wearable seperti akselerometer, giroskop, dan monitor detak jantung berperan penting dalam pemantauan real-time data fisiologis dan biomekanik atlet. Perangkat ini memungkinkan pengumpulan data secara kontinu yang dapat digunakan untuk menyesuaikan beban latihan, membantu mencegah latihan berlebihan serta cedera seperti tendinitis atau ketegangan otot (Benson et al., 2020; Van-Eetvelde et al., 2021).

Namun, meskipun efektif dalam mencegah cedera mikro, perangkat wearable kurang efektif dalam mencegah cedera berat akibat trauma dengan dampak tinggi, seperti patah tulang

atau robekan ligamen (Van-Eetvelde et al., 2021). Oleh karena itu, meskipun perangkat wearable memainkan peran krusial dalam mencegah cedera stres berulang jangka panjang, teknologi ini perlu dilengkapi dengan strategi lain untuk menangani cedera yang tiba-tiba atau traumatik.

Analitik Prediktif dan Pembelajaran Mesin

Analitik prediktif, khususnya yang didukung oleh pembelajaran mesin, memberikan kontribusi besar dalam pencegahan cedera dengan menganalisis data dari perangkat wearable dan sensor untuk mendeteksi pola yang mengindikasikan risiko cedera. Sistem ini mencapai tingkat akurasi yang tinggi, seringkali melebihi 90%, dalam mengidentifikasi gerakan yang tidak tepat, seperti bentuk lari yang salah atau ketidakseimbangan sendi yang menjadi faktor awal cedera (Seshadri et al., 2019). Kemampuan prediktif ini memungkinkan intervensi awal di mana regimen latihan dapat disesuaikan dan periode istirahat dianjurkan sebelum cedera terjadi. Namun, teknologi ini paling efektif untuk mendeteksi cedera akibat pola gerakan yang salah atau penggunaan berlebihan, bukan cedera berat yang biasanya disebabkan oleh trauma dengan dampak tinggi (Van-Eetvelde et al., 2021). Penyempurnaan berkelanjutan dan validasi di dunia nyata dari algoritma ini diperlukan agar lebih dapat diterapkan secara luas.

Pendekatan Holistik dengan Sistem Sensor dan Biomekanik

Integrasi sistem sensor dan analisis biomekanik semakin meningkatkan efektivitas strategi pencegahan cedera. Sensor fleksibel dan sensor kuantum memberikan data real-time tentang pergerakan atlet dan gaya yang diberikan pada tubuh mereka, mengidentifikasi ketidakseimbangan dan asimetri gerakan yang berpotensi menyebabkan cedera. Penelitian menunjukkan bahwa menggabungkan sensor ini dengan sistem motion capture memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi fisik atlet, memungkinkan intervensi yang lebih tepat sasaran untuk mencegah cedera (Liu & Zhang, 2022; Lv, 2024).

Teknologi Realitas Virtual dan Augmented Reality

Teknologi realitas virtual (VR) dan augmented reality (AR) menyediakan lingkungan pelatihan yang imersif yang meniru situasi dunia nyata, sehingga mengurangi risiko cedera fisik selama latihan. Teknologi ini sangat berharga untuk olahraga yang membutuhkan keterampilan motorik kompleks atau memiliki risiko cedera tinggi akibat pola gerakan yang salah. VR dan AR terbukti meningkatkan metrik performa dan mengurangi risiko cedera dengan mendorong teknik yang benar selama latihan (Fricke et al., 2024).

Tantangan dan Arah Masa Depan

Salah satu tantangan utama dalam adopsi luas teknologi ini adalah kurangnya validasi klinis yang kuat. Walaupun studi terkendali menunjukkan efektivitas model prediktif dan perangkat wearable, efektivitasnya dalam kondisi dunia nyata masih kurang dieksplorasi. Uji klinis lanjutan diperlukan untuk menilai efektivitas jangka panjang, terutama dalam berbagai setting olahraga (Benson et al., 2020). Selain itu, atlet dan pelatih sering menghadapi hambatan dalam mengadopsi teknologi ini karena biaya, kompleksitas, atau kurangnya pengetahuan. Memastikan program pencegahan cedera yang menarik, spesifik untuk cabang olahraga, dan disesuaikan dengan kebutuhan atlet akan meningkatkan kepatuhan dan efektivitas.

Masa depan pencegahan cedera olahraga terletak pada alat yang lebih terjangkau, akurat, dan mudah digunakan, serta kolaborasi yang erat antara pengembang teknologi, tenaga medis, dan profesional olahraga untuk memastikan teknologi divalidasi dan berhasil diterapkan di

lapangan. Meskipun teknologi pencegahan cedera olahraga telah menunjukkan hasil yang positif, penting untuk menyadari bahwa tantangan terbesar yang dihadapi adalah penerapan teknologi ini dalam konteks dunia nyata. Validasi klinis yang lebih kuat dan uji coba jangka panjang sangat diperlukan untuk memastikan efektivitasnya dalam berbagai setting olahraga, terutama untuk memastikan bahwa perangkat ini dapat berfungsi secara optimal dalam kondisi yang lebih bervariasi dan dinamis. Selain itu, meskipun teknologi wearable dan analitik prediktif dapat membantu mengurangi cedera mikro, pendekatan ini masih memiliki keterbatasan dalam mengatasi cedera berat yang terjadi akibat trauma langsung atau benturan yang keras. Oleh karena itu, penelitian lanjutan yang menggabungkan berbagai teknologi dan strategi pencegahan cedera, serta meningkatkan adopsi di kalangan atlet dan pelatih, sangat penting untuk memperluas manfaat teknologi ini dalam pencegahan cedera olahraga secara menyeluruh.

Simpulan

Integrasi teknologi dalam pencegahan cedera olahraga telah menunjukkan potensi besar dalam mengurangi cedera mikro dan meningkatkan performa atlet. Perangkat wearable, sistem sensor, algoritma pembelajaran mesin, serta alat analisis biomekanik terbukti efektif dalam pemantauan real-time dan prediksi risiko cedera, khususnya dalam mencegah cedera akibat penggunaan berlebihan seperti keseleo dan ketegangan otot. Teknologi-teknologi ini memberikan wawasan berharga mengenai kondisi fisik atlet, memungkinkan penyesuaian program latihan secara personal yang membantu mencegah cedera jangka panjang sekaligus mengoptimalkan performa. Namun, meskipun teknologi ini unggul dalam menangani cedera mikro, kemampuan mereka dalam mencegah cedera berat seperti robekan ligamen atau patah tulang masih terbatas, sehingga memerlukan inovasi dan pengembangan lebih lanjut.

Meskipun hasil positif telah dicapai, masih terdapat tantangan dalam adopsi luas teknologi ini, termasuk biaya tinggi, kurangnya validasi klinis, serta kepatuhan pengguna terhadap program pencegahan cedera. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu fokus pada penyempurnaan teknologi, validasi efektivitasnya dalam kondisi dunia nyata, serta membuat teknologi lebih terjangkau dan mudah diakses oleh atlet di berbagai tingkatan. Dengan meningkatkan integrasi alat-alat ini dalam program latihan dan rehabilitasi yang personal, pencegahan cedera olahraga dapat lebih ditingkatkan, menciptakan pendekatan yang lebih aman dan efektif dalam pengelolaan kesehatan atlet.

Pernyataan Penulis

Dengan ini kami menyatakan bahwa artikel yang berjudul ″evaluating the effectiveness of technology in sports injury prevention: a systematic review″ belum pernah dipublikasikan di jurnal manapun dan tidak sedang dalam proses pengajuan untuk publikasi di jurnal lain. Artikel ini merupakan karya asli kami dan belum pernah dipublikasikan sebelumnya.

Daftar Pustaka

Alyami, A. H., Darraj, H., Hamdi, S., Saber, A., Bakri, N., Maghrabi, R., Hakami, K. M., & Darraj, A. (2023). Awareness of Anterior Cruciate Ligament Injury-Preventive Training

Programs among Saudi Athletes. *Clinics and Practice*, *13*(3), 656–665. https://doi.org/10.3390/clinpract13030060

Benson, L. C., Räisänen, A. M., Volkova, V. G., Pasanen, K., & Emery, C. A. (2020). Workload a-WEAR-ness: Monitoring Workload in Team Sports With Wearable Technology. A Scoping Review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *50*(10), 549–563. https://doi.org/10.2519/jospt.2020.9753

Boden, B. P., Anderson, S. A., & Sheehan, F. T. (2024). Catastrophic sports injuries: Causation and Prevention. *JBJS*, *106*(1), 62–73. https://doi.org/10.2106/JBJS.23.00335

Buckthorpe, M. (2019). Optimising the Late-Stage Rehabilitation and Return-to-Sport Training and Testing Process After ACL Reconstruction. *Sports Medicine*, *49*(7), 1043–1058. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01102-z

Dawson, L., McErlain-Naylor, S. A., Devereux, G., & Beato, M. (2024). Practitioner usage, Applications, and Understanding of Wearable GPS and Accelerometer Technology in Team Sports. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *38*(7), e373–e382. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004781

Flatt, A. A., & Esco, M. R. (2016). Evaluating Individual Training Adaptation with smartphone-Derived Heart Rate Variability in a Collegiate Female Soccer Team. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *30*(2), 378–385. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001095

Fricke, L., Klaumünzer, A., Häner, M., & Petersen, W. (2024). New Technologies in Rehabilitation and Prevention. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, *40*(2), 93–102. https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2024.04.002

Huebner, B. J., Plisky, P. J., Kiesel, K. B., & Schwartzkopf-Phifer, K. (2020). Can Injury Risk Category Be Changed in Athletes? an Analysis of an Injury Prevention System. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *14*(1), 127–134. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6350661/

Jauhiainen, S., Kauppi, J.-P., Leppänen, M., Pasanen, K., Parkkari, J., Vasankari, T., Kannus, P., & Äyrämö, S. (2021). New Machine Learning Approach for Detection of Injury Risk Factors in Young Team Sport Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, *42*(02), 175–182. https://doi.org/10.1055/a-1231-5304

Kaul, D., & Khurana, R. (2021). AI to detect and mitigate security vulnerabilities in APIs: encryption, authentication, and anomaly detection in enterprise-level distributed systems. *Eigenpub Review of Science and Technology*, *5*(1), 34–62.

Kim, D., & Ko, Y. J. (2019). The Impact of Virtual Reality (VR) Technology on Sport Spectators' flow Experience and Satisfaction. *Computers in Human Behavior*, *93*, 346–356. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.12.040

Liu, L., & Zhang, X. (2022). A Focused Review on the Flexible Wearable Sensors for Sports: From Kinematics to Physiologies. *Micromachines*, *13*(8), 1356. https://doi.org/10.3390/mi13081356

Lv, M. (2024). Construction of Athletes' Physical Condition Monitoring and Analysis System Using Biometrics Recognition Technology. *Journal of Electrical Systems*, *20*, 2082–2091. https://doi.org/10.52783/jes.3123

Mishra, N., Habal, B. G. M., Garcia, P. S., & Garcia, M. B. (2024). Harnessing an AI-Driven

Analytics Model to Optimize Training and Treatment in Physical Education for Sports Injury Prevention. *Proceedings of the 2024 8th International Conference on Education and Multimedia Technology*, 309–315. https://doi.org/10.1145/3678726.3678740

Monsonís, O. B., Verhagen, E., Kaux, J.-F., & Bolling, C. (2021). 'I Always Considered I Needed Injury Prevention to Become an Elite Athlete': the Road to the Olympics from the Athlete and staff Perspective. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, *7*(4), e001217. https://bmjopensem.bmj.com/content/7/4/e001217

Nota, D. P. M., Bahji, A., Groll, D., Carleton, R. N., & Anderson, G. S. (2021). Proactive Psychological Programs Designed to Mitigate Posttraumatic Stress Injuries Among At-Risk Workers: a Systematic Review and Meta-Analysis. In *Systematic Reviews* (Vol. 10, Issue 1). Springer. https://doi.org/10.1186/s13643-021-01677-7

Orangi, M. B., Yaali, R., Bahram, A., Aghdasi, M. T., van der Kamp, J., Vanrenterghem, J., & Jones, P. A. (2021). Motor learning methods that induce high practice variability reduce kinematic and kinetic risk factors of non-contact ACL injury. *Human Movement Science*, *78*. https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102805

Potthast, W. (2024). Biomechanical Data. In *Sports Technology: Technologies, Fields of Application, Sports Equipment and Materials for Sport* (pp. 11–18). https://doi.org/10.1007/978-3-662-68703-1_2

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). https://doi.org/10.1186/s13102-023-00783-4

Restrepo-Villamizar, J., Verhagen, E., & Vos, S. (2020). Defining the Individual Injury Profile of Recreational Runners: Integrating Off-Training and Subjective Factors into the Assessment of Non-Professional Athletes. In *Proceedings* (p. 87). mdpi.com. https://doi.org/10.3390/proceedings2020049087

Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A., & Drummond, C. K. (2019). Wearable Sensors for Monitoring the Internal and External Workload of the Athlete. *Npj Digital Medicine*, *2*(1). https://doi.org/10.1038/s41746-019-0149-2

Seshadri, D. R., Thom, M. L., Harlow, E. R., Gabbett, T. J., Geletka, B. J., Hsu, J. J., Drummond, C. K., Phelan, D. M., & Voos, J. E. (2021). Wearable Technology and Analytics as a Complementary Toolkit to Optimize Workload and to Reduce Injury Burden. *Frontiers in Sports and Active Living*, *2*, 630576. https://doi.org/10.3389/fspor.2020.630576

Shah, M., Shah, A., Patel, K., Kshirsagar, A., Sanghvi, S., & Sojitra, V. (2025). Predictive analytics, Strategic Game Analysis, and Injury Prevention in Sports: the Role of big Data and Artificial Intelligence. *Machine Learning for Computational Science and Engineering*, *1*(1), 1–25. https://doi.org/10.1007/s44379-025-00017-z

Van Eetvelde, H., Mendonça, L. D., Ley, C., Seil, R., & Tischer, T. (2021). Machine Learning Methods in Sport Injury Prediction and Prevention: a Systematic Review. In *Journal of Experimental Orthopaedics* (Vol. 8, Issue 1). Springer. https://doi.org/10.1186/s40634-

021-00346-x

Vellios, E. E., Pinnamaneni, S., Camp, C. L., & Dines, J. S. (2020). Technology Used in the Prevention and Treatment of Shoulder and Elbow Injuries in the Overhead Athlete. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, *13*(4), 472–478. https://doi.org/10.1007/s12178-020-09645-9

Willwacher, S., Kurz, M., Robbin, J., Thelen, M., Hamill, J., Kelly, L., & Mai, P. (2022). Running-Related Biomechanical Risk Factors for Overuse Injuries in Distance Runners: a Systematic Review Considering Injury Specificity and the Potentials for future Research. *Sports Medicine*, *52*(8), 1863–1877. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01666-3

Zawacki-Richter, O., Kerres, M., Bedenlier, S., Bond, M., & Buntins, K. (2020). *Systematic Reviews in Educational Research: Methodology, Perspectives and Application*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7

Zhang, Y., Duan, W., Villanueva, L. E., & Chen, S. (2023). Transforming Sports Training Through the Integration of Internet Technology and Artificial Intelligence. *Soft Computing*, *27*(20), 15409–15423. https://doi.org/10.1007/s00500-023-08960-w

Zhang, Z. (2024). Retracted Article: Quantum Sensors in Sports Biomechanics in Revolutionizing Injury Prevention. *Optical and Quantum Electronics*, *56*(3), 311. https://doi.org/10.1007/s11082-023-06017-8