

Peran Wearable Technology dalam Pemantauan Performa Atlet: Tinjauan Systematic Literature Review

M. Dandy Aryadi¹, Sri Sumartiningsih², Hadi³, Didik Cahyono⁴

Departemen Pendidikan Olahraga, Universitas Negeri Semarang, Indonesia¹²³⁴

ABSTRAK

Wearable technology berkembang pesat dan semakin banyak digunakan dalam bidang olahraga untuk memantau performa atlet. Perangkat seperti inertial measurement units (IMU), GPS, akselerometer, force plates portabel, serta sensor biomekanik spesifik memungkinkan pengumpulan data objektif terkait aspek fisiologis, biomekanik, dan teknis. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau secara sistematis peran wearable technology dalam pemantauan performa atlet lintas cabang olahraga. Metode *systematic literature review* digunakan dengan menyeleksi artikel *open access* dari basis data akademik internasional dalam rentang tahun 2009–2023. Hasil telaah menunjukkan bahwa wearable technology berkontribusi dalam tiga aspek utama, yaitu pencegahan cedera melalui pemantauan beban kerja dan deteksi risiko biomekanik, peningkatan keterampilan teknik melalui analisis gerakan berbasis data, serta optimalisasi latihan dan strategi kompetisi melalui umpan balik real-time. Kendati demikian, sejumlah keterbatasan ditemukan, seperti variasi validitas sensor antar olahraga, ukuran sampel penelitian yang kecil, keterbatasan standar pengolahan data, serta minimnya kajian pada atlet elit dalam kondisi kompetisi nyata. Kesimpulannya, wearable technology berpotensi menjadi alat pendukung pengambilan keputusan (*decision-support system*) dalam sport science dan kepelatihan, khususnya bila diintegrasikan dengan *machine learning* dan analitik prediktif untuk meningkatkan akurasi pemantauan performa dan pencegahan cedera di masa depan.

Kata kunci: wearable technology, performa atlet, pencegahan cedera, sport science, systematic literature review

PENDAHULUAN

Fenomena penggunaan wearable di kalangan atlet & kebutuhan spesifik pemantauan performa. Dalam beberapa tahun terakhir, atlet profesional maupun amatir menghadapi tuntutan performa yang semakin tinggi, baik dari sisi kompetisi, pemulihan, maupun kesehatan jangka panjang. Untuk menjawab tuntutan ini, *wearable technology* (sensor yang dapat dipakai seperti accelerometer, GPS, monitor detak jantung, hingga inertial measurement unit/IMU) mulai digunakan secara luas untuk memantau parameter fisiologis dan biomekanik secara real-time. Di berbagai cabang olahraga seperti hoki lapangan, sepak bola, hingga atletik, wearable kini tidak hanya dipandang sebagai perangkat tambahan, melainkan bagian integral dari program pelatihan dan pemulihan. Misalnya, penelitian *Wearable Sensors and the Evaluation of Physiological Performance in Elite Field Hockey Players* menunjukkan bahwa wearable berperan penting dalam mengukur validitas parameter fisiologis pada atlet elit dan membantu pengambilan keputusan pelatih dalam strategi latihan maupun pemulihan (Latino & Tafuri,

2024). Hal ini menegaskan bahwa wearable merupakan alat strategis yang mampu memengaruhi perencanaan performa, monitoring beban latihan, hingga pencegahan cedera.

Pemanfaatan wearable tidak hanya berkaitan dengan isu teknis seperti akurasi dan reliabilitas, melainkan juga melibatkan bagaimana atlet maupun individu aktif secara sosial memaknai dan merespons penggunaan perangkat ini. Sebuah studi kualitatif berjudul *A qualitative examination of the factors affecting the adoption of injury-focused wearable technologies in recreational runners* menemukan bahwa meskipun pelari memahami pentingnya pemantauan beban berlebih, teknik berlari, dan status cedera, hambatan seperti kenyamanan, biaya, kepercayaan terhadap akurasi, hingga ketergantungan psikologis terhadap data masih menjadi tantangan utama (Lacey et al., 2022). Persepsi tersebut memperlihatkan bahwa wearable tidak hanya sekadar alat teknis, tetapi juga bagian dari praktik sosial dan pengalaman atlet yang memiliki implikasi pada motivasi, identitas, serta relasi antara atlet, pelatih, dan tim medis.

Kebutuhan pemantauan beban latihan (training load) dan keterkaitannya dengan cedera isu utama dalam pengelolaan performa atlet adalah keseimbangan antara beban latihan (training load) dan pemulihan. Ketidakseimbangan dapat meningkatkan risiko overtraining dan cedera. Wearable berperan penting dalam memantau beban eksternal (jarak, akselerasi, kecepatan via GPS/IMU) dan beban internal (detak jantung, HRV, VO₂ estimasi). Penelitian Practitioner Usage, Applications, and Understanding of Wearable GPS and Accelerometer Technology in Team Sports menemukan bahwa mayoritas praktisi olahraga memanfaatkan data wearable untuk menyesuaikan beban latihan, meski terdapat variasi besar dalam pemahaman serta interpretasi metrik dari perangkat akselerometer. Temuan ini menegaskan bahwa implementasi wearable bergantung pada pemahaman teknis dan kapasitas organisasi. Banyak perangkat mengalami keterbatasan dalam hal akurasi, khususnya pada kondisi dinamis tinggi yang umum dalam olahraga. Faktor seperti penempatan sensor, perbedaan antara perangkat komersial dengan penelitian, serta algoritma pemrosesan data sering memengaruhi hasil. Artikel Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities mengulas bahwa meski wearable berkontribusi besar dalam olahraga, isu reliabilitas tetap menjadi hambatan untuk implementasi optimal di lapangan (Seçkin et al., 2023). Oleh karena itu, pemahaman kritis atas keterbatasan ini sangat penting dalam evaluasi sistematis.

Etika, privasi data, dan regulasi penggunaan data biometrik atlet Penggunaan wearable membawa tantangan etis yang kompleks, khususnya terkait privasi data biometrik atlet. Wearable dapat merekam data sensitif seperti detak jantung, pola tidur, hingga lokasi, yang menimbulkan pertanyaan serius tentang kepemilikan, akses, dan penggunaan data. Studi Privacy in Consumer Wearable Technologies: A Living Systematic Analysis of Data Policies Across Leading Manufacturers menyoroti lemahnya transparansi kebijakan privasi dalam pengelolaan data wearable, termasuk potensi penggunaan pihak ketiga tanpa kontrol pengguna (Baldwin et al., 2025). Dalam dunia olahraga, isu ini menjadi semakin krusial mengingat potensi eksploitasi data untuk kepentingan komersial maupun seleksi atlet.

Peran wearable di olahraga elite dan event besar sebagai laboratorium nyata Event olahraga berskala internasional sering menjadi ajang eksperimen dan inovasi wearable. Misalnya, penelitian Technology Innovation and Guardrails in Elite Sport: The Future is Now menggambarkan penggunaan wearable saat Olimpiade Tokyo 2020 dan event “adidas Road to Records” untuk memantau kondisi fisiologis atlet pada cuaca panas dan lembab, termasuk

kehilangan cairan dan elektrolit (Guppy et al., 2023). Temuan ini memperlihatkan bahwa wearable tidak hanya berfungsi untuk peningkatan performa, melainkan juga sebagai sistem proteksi kesehatan dan keselamatan dalam kondisi ekstrem.

Ketimpangan akses dan implikasi sosial dari adopsi wearable Meskipun wearable semakin terjangkau, akses terhadap teknologi ini tidak merata di berbagai negara. Atlet dari negara dengan sumber daya terbatas sering kali menghadapi hambatan dalam memperoleh perangkat canggih maupun staf pendukung yang mampu menginterpretasikan data. Ketimpangan ini berpotensi memperbesar kesenjangan performa antara atlet di negara maju dan negara berkembang. Selain faktor ekonomi, penerimaan sosial-budaya juga memengaruhi adopsi wearable, di mana pengalaman subjektif pelatih sering kali masih lebih dipercaya dibandingkan data teknologi. Kondisi ini menegaskan perlunya analisis kualitatif yang memahami dimensi sosial dan budaya penggunaan wearable di berbagai konteks.

Dari permasalahan tentang Peran Wearable Technology dalam Pemantauan Performa Atlet, Bagaimana efektivitas penggunaan wearable technology dalam pemantauan performa atlet, khususnya dalam aspek pencegahan cedera, pemantauan beban latihan, dan peningkatan keterampilan Teknik. Sejauh mana keterbatasan teknis seperti akurasi sensor, reliabilitas data, serta minimnya penelitian pada atlet elit dalam kondisi kompetisi nyata memengaruhi optimalisasi pemanfaatan wearable technology di dunia olahraga

Kompleksitas interaksi antara atlet, pelatih, dan teknologi dalam praktik Penggunaan wearable dalam praktik olahraga nyata melibatkan dinamika kompleks antara atlet, pelatih, dan teknologi. Atlet dapat merasa terbebani oleh kenyamanan fisik perangkat, atau khawatir bahwa data mereka akan digunakan untuk evaluasi negatif. Di sisi lain, pelatih mungkin menghadapi dilema antara mempercayai intuisi pengalaman dengan data wearable. Faktor psikologis, kepercayaan, serta dinamika hubungan interpersonal ini menjadi dimensi penting yang sering tidak tertangkap dalam studi kuantitatif. Penelitian kualitatif dapat menggali narasi tersebut untuk memahami secara mendalam pengalaman pengguna wearable di dunia olahraga.

Kebutuhan untuk systematic literature review kualitatif Berdasarkan fenomena di atas mulai dari adopsi teknologi wearable, tantangan teknis, etika privasi data, persepsi pengguna, ketimpangan akses, hingga kompleksitas interaksi social muncul kebutuhan mendesak untuk melakukan systematic literature review yang menyoroti aspek kualitatif dari penggunaan wearable. Pendekatan ini penting untuk mengidentifikasi bagaimana atlet, pelatih, dan pemangku kepentingan lain memahami, mengalami, serta menilai implementasi wearable dalam olahraga. Dengan demikian, hasil kajian sistematis ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan, strategi pelatihan, serta inovasi teknologi wearable yang lebih adaptif terhadap konteks sosial, budaya, dan organisasi.

METODE

Strategi Pencarian

Proses pencarian literatur dilakukan secara sistematis dengan mengacu pada pedoman PRISMA 2020. Basis data yang digunakan dalam kajian ini adalah Scopus dan PubMed. Strategi pencarian dirancang dengan menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan, seperti *wearable technology*, *athlete performance*, *injury prevention*, dan *sports monitoring*. Tidak ada batasan tahun publikasi yang ditetapkan agar cakupan literatur lebih luas, namun hanya artikel yang

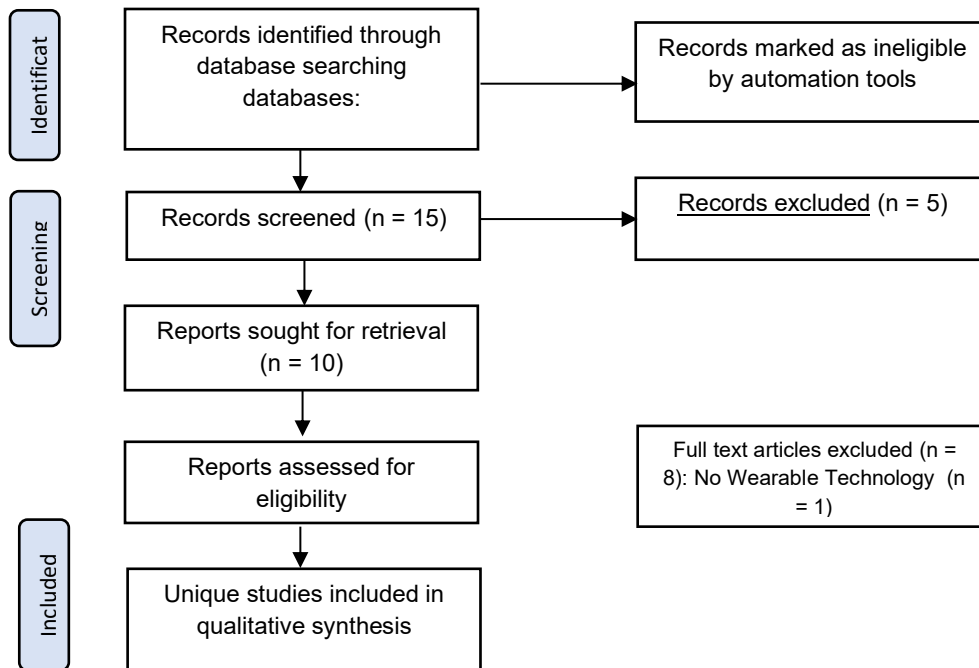
tersedia dalam bahasa Inggris dan berbentuk *full text* yang dipertimbangkan. Dari hasil pencarian awal, diperoleh total 25 artikel (Scopus = 9 artikel; PubMed = 16 artikel) yang kemudian dievaluasi lebih lanjut untuk kelayakan Peran Wearable Technology dalam.

Tabel 1. Strategi Pencarian yang Spesifik

Komponen	Boolean Terms
Olahraga Populasi	"atlet*" ATAU "pemain*" ATAU "olahraga*" ATAU "olahraga"
Teknologi Kenakan	"teknologi kenakan" ATAU "perangkat kenakan*" ATAU "sensor*" ATAU "biosensor*"
Perangkat Sensor	"unit pengukuran inersia" ATAU 'IMU' ATAU "akselerometer*" ATAU "sistem penentuan posisi global" ATAU "pelacak GPS*" ATAU "monitor detak jantung" ATAU "pengukur daya"
Fokus Hasil	"beban latihan" ATAU "pemantauan kinerja" ATAU "pencegahan cedera" ATAU "pemantauan fisiologis"
String Pencarian Umum	("teknologi wearable" ATAU "perangkat wearable*" ATAU "sensor*" ATAU "biosensor*" ATAU "unit pengukuran inersia" ATAU "akselerometer*" ATAU "sistem penentuan posisi global" ATAU "pelacak GPS*") DAN ("atlet*" ATAU "pemain*" ATAU "olahraga*" ATAU 'latihan') DAN ("beban latihan" ATAU "pemantauan kinerja" ATAU "pencegahan cedera")

Pemilihan Studi dan Kriteria Kelayakan

Seleksi studi dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu identifikasi, penyaringan, dan inklusi, sesuai dengan alur PRISMA. Artikel yang memenuhi kriteria inklusi adalah penelitian asli atau *systematic review* yang membahas penggunaan *wearable technology* dalam konteks olahraga, baik untuk menilai performa atlet, beban latihan (*training load*), pemantauan fisiologis (misalnya detak jantung, GPS, atau akselerometer), maupun pencegahan cedera. Subjek penelitian yang diterima adalah atlet atau individu yang aktif berpartisipasi dalam olahraga terorganisir, dengan syarat publikasi tersedia dalam bahasa Inggris dan berbentuk *full text*.



Gambar 1. Diagram alir pemilihan studi

Sementara itu, artikel dikeluarkan apabila hanya berfokus pada desain teknis sensor tanpa aplikasi pada atlet, tidak membahas wearable technology, berupa laporan kasus, editorial, opini, atau publikasi non-peer-reviewed, serta tidak menyajikan data terkait performa, pemantauan beban latihan, atau *pengecahan* cedera. Setelah penyaringan judul dan abstrak, terdapat 15 artikel yang layak untuk ditinjau lebih lanjut. Pada tahap *full-text review*, sebanyak 8 artikel dieliminasi karena tidak memenuhi kriteria (satu artikel tidak membahas wearable technology, satu artikel tidak menyertakan laporan cedera, dan tiga artikel tidak relevan dengan topik penelitian). Dengan demikian, total 8 artikel terpilih untuk diinklusi dalam sintesis kualitatif.

Tabel 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi untuk Ulasan Sistematis Kualitatif

Komponen	Inklusi	Eksklusi
Populasi (P)	Atlet atau individu yang aktif berpartisipasi dalam olahraga terorganisir	Populasi non-atlet atau individu yang tidak terlibat dalam olahraga
Fenomena yang Menarik (I)	Studi yang menilai penggunaan <i>wearable technology</i> untuk memantau performa, beban latihan (<i>training load</i>), variabel fisiologis (HR, GPS, akselerometer), atau pencegahan cedera	Studi yang hanya berfokus pada desain teknis sensor tanpa penerapan pada atlet; studi yang tidak menggunakan <i>wearable technology</i> ; atau fokus pada aspek non-teknologi (misalnya nutrisi, psikologi)
Kontekstual (Co)	Artikel penelitian asli (<i>original research</i>) atau <i>systematic review</i> , tersedia dalam bahasa Inggris, dan dapat diakses penuh (<i>full text</i>)	Artikel berupa laporan kasus, editorial, opini, publikasi non-peer-reviewed, atau tidak tersedia dalam teks lengkap

Ciri-ciri Studi

Karakteristik studi yang direview dalam literatur terkait wearable technology pada pemantauan performa atlet menunjukkan variasi yang cukup luas, baik dari sisi desain penelitian, populasi yang diteliti, maupun teknologi yang digunakan. Sebagian besar studi menggunakan desain observasional, validasi sensor, atau uji reliabilitas, sementara penelitian dengan desain longitudinal jangka panjang masih terbatas. Partisipan yang dilibatkan umumnya terdiri dari atlet amatir hingga semi-profesional, dengan jumlah sampel yang relatif kecil, sedangkan keterlibatan atlet elit dan atlet Olimpiade masih jarang ditemukan. Wearable yang paling banyak digunakan adalah inertial measurement units (IMU), yang memanfaatkan akselerometer, giroskop, dan magnetometer untuk mengukur parameter kinematika serta beban eksternal. Selain itu, terdapat juga penggunaan sensor fisiologis seperti heart rate monitor, sensor oksigen, dan electromyography (EMG) untuk memantau beban internal dan kondisi fisiologis atlet. Lokasi pengukuran dalam penelitian sebagian besar dilakukan di lingkungan latihan atau laboratorium, dengan pengumpulan data yang kemudian dianalisis secara retrospektif, meskipun beberapa studi terbaru mulai mengintegrasikan real-time feedback. Variabel performa yang diamati meliputi kecepatan, percepatan, frekuensi langkah, sudut sendi, beban internal, hingga indikator kelelahan. Meski hasil penelitian menunjukkan potensi besar wearable technology dalam memberikan data objektif untuk mendukung pelatih dan atlet, sebagian studi masih menghadapi keterbatasan berupa akurasi sensor, reliabilitas di kondisi kompetisi nyata, serta kurangnya standarisasi protokol pengukuran.

Tabel 3. Karakteristik Studi

No	Peneliti & Tahun	Tujuan/ Fokus Penelitian	Metode	Teknologi yang Digunakan	Sampel / Olahraga	Temuan Utama	Implikasi Penelitian
1	Palanisamy et al. (2023)	Meninjau aplikasi teknologi wearable dalam pencegahan cedera olahraga	Scoping Review (21 studi)	GPS, accelerometer, force plates	Atlet elit, profesional, & mahasiswa (soccer, volley, football, rugby, atletik, basket)	Identifikasi variabel biomekanik utama seperti <i>Player Load</i> dan <i>ACWR</i> ; teknologi membantu pencegahan cedera & manajemen beban latihan	Data sensor mendukung pengambilan keputusan berbasis beban kerja dan risiko cedera
2	King et al. (2009)	Mengembangkan sistem pemantauan teknik mendayung berbasis sensor	Eksperimen teknis	<i>Body Sensor Networks</i>	Atlet mendayung	Sensor jaringan tubuh mampu memonitor teknik secara <i>real-time</i>	Membantu pelatih mengevaluasi teknik secara objektif & efisien
3	Makhni et al. (2018)	Menganalisis torsi siku saat melempar dalam baseball	Analisis biomekanik komparatif	<i>Wearable torque sensor</i>	Pitcher baseball	Ditemukan perbedaan signifikan torsi antar jenis lemparan (fastball, curveball, change-up)	Data torque menjadi dasar pencegahan cedera bahu/elbow

No	Peneliti & Tahun	Tujuan/ Fokus Penelitian	Metode	Teknologi yang Digunakan	Sampel / Olahraga	Temuan Utama	Implikasi Penelitian
4	Koda et al. (2010)	Mengukur pergerakan lengan 3D selama gerakan melempar	Eksperimen biomekanik	<i>Body-mounted 3D sensor</i>	Baseball (lemparan)	Sensor efektif mengukur rotasi dan kecepatan lengan	Mendukung evaluasi teknik lempar berbasis data objektif
5	Mitsui et al. (2015)	Mengembangkan sistem pendukung peningkatan teknik golf swing	Sistem pendukung performa	<i>Wearable inertial sensors</i>	Golf (swing)	Sensor membantu koreksi kesalahan teknik secara akurat	Teknologi efektif untuk <i>real-time feedback</i> teknik swing
6	Taha et al. (2016)	Menganalisis hubungan gerakan tangan dan skor panahan	Analisis korelasi biomekanik	<i>Motion sensor</i>	Panahan	Gerakan tangan berkorelasi signifikan dengan skor panahan	Sensor dapat digunakan untuk latihan akurasi dan stabilitas
7	Wang et al. (2018)	Menilai keterampilan teknik voli dengan IMU di pergelangan tangan	Uji performa	<i>Wrist IMU</i>	Bola voli	IMU mampu mendeteksi keterampilan teknik seperti passing dan servis	Potensial untuk evaluasi teknik otomatis dalam pembelajaran voli
8	Wang et al. (2016)	Memantau gerakan kano sprint menggunakan wearable sensors	Sistem monitoring	<i>Wearable motion sensors</i>	Canoe sprint	Sensor akurat melacak gerakan dan ritme mendayung	Mendukung analisis performa berbasis biomekanik secara presisi

Hasil tinjauan sistematis terhadap delapan penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi wearable dalam bidang biomekanika olahraga telah mengalami kemajuan yang signifikan dalam dua dekade terakhir. Teknologi ini menjadi instrumen penting dalam pemantauan performa atlet, pencegahan cedera, serta evaluasi teknik olahraga secara objektif dan berbasis data. Berdasarkan hasil telaah literatur, penelitian-penelitian tersebut secara umum menggunakan pendekatan eksperimental dan kuantitatif yang berfokus pada pengujian efektivitas sensor terhadap aktivitas gerak spesifik.

Penelitian Palanisamy et al. (2023) memberikan gambaran komprehensif mengenai peran data biomekanik dalam strategi pencegahan cedera melalui scoping review terhadap 21 studi. Temuannya menegaskan bahwa variabel seperti Player Load, Change of Direction, dan Acute:Chronic Workload Ratio (ACWR) merupakan indikator penting dalam manajemen beban latihan. Selanjutnya, penelitian King et al. (2009) serta Koda et al. (2010) menunjukkan bahwa penggunaan Body Sensor Networks dan 3D body-mounted sensors mampu merekam teknik mendayung dan gerak melempar secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi. Temuan ini menegaskan potensi sistem sensorik sebagai alat evaluasi biomekanik dalam latihan teknis olahraga.

Lebih lanjut, Makhni et al. (2018) melakukan analisis biomekanik komparatif terhadap gerakan lempar dalam baseball dengan menggunakan wearable torque sensor, dan menemukan adanya perbedaan signifikan pada gaya torsi antara berbagai jenis lemparan seperti fastball dan curveball. Temuan ini memiliki implikasi penting terhadap pencegahan cedera bahu dan siku pada atlet. Sementara itu, Mitsui et al. (2015) dan Wang et al. (2018) mengembangkan sistem

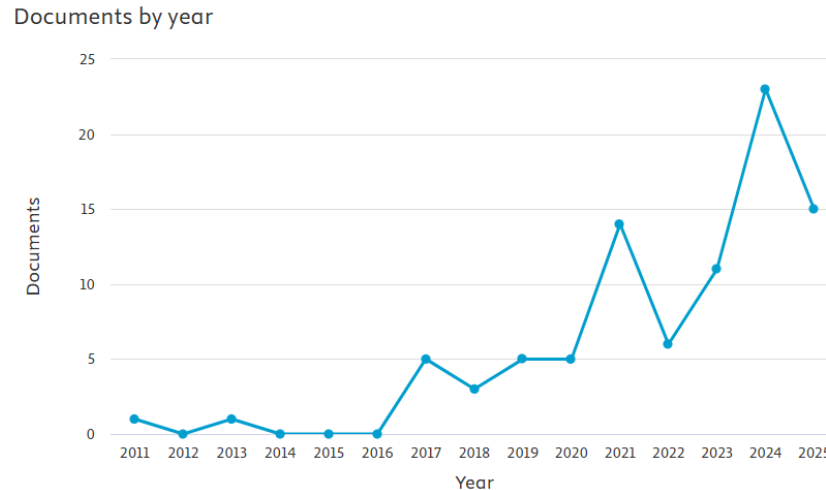
pendukung performa berbasis inertial sensors untuk memperbaiki teknik swing golf dan keterampilan voli. Hasil keduanya membuktikan bahwa umpan balik real-time feedback dari sensor dapat meningkatkan efektivitas latihan dan kesadaran gerak atlet.

Pada bidang olahraga presisi, Taha et al. (2016) menemukan adanya hubungan signifikan antara kestabilan gerakan tangan dengan skor dalam olahraga panahan, yang menunjukkan bahwa motion sensor dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu latihan berbasis biomekanik. Selain itu, penelitian Wang et al. (2016) tentang wearable motion sensors pada olahraga kano sprint menunjukkan kemampuan sensor dalam memonitor ritme dan kekuatan kayuhan dengan presisi tinggi, sehingga mendukung evaluasi performa atlet secara berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil tinjauan ini menunjukkan bahwa teknologi wearable berfungsi tidak hanya sebagai alat pengumpul data biomekanik, tetapi juga sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan (decision support system) dalam pelatihan dan pencegahan cedera atlet. Meskipun sebagian besar penelitian dilakukan pada atlet profesional di negara maju, masih terdapat peluang penelitian lebih lanjut dalam konteks pendidikan jasmani, olahraga rekreasi, dan pembinaan atlet usia dini. Dengan demikian, tinjauan sistematis ini memperkuat urgensi pengembangan model pembelajaran dan pelatihan olahraga berbasis teknologi wearable yang adaptif, efisien, dan kontekstual terhadap kebutuhan lokal, khususnya di Indonesia.

Olahraga Olimpiade dan Teknologi Wearable dalam Studi yang Telah Ditinjau

Studi-studi yang direview pada literatur terkait wearable technology dalam olahraga umumnya memiliki karakteristik yang beragam, baik dari segi desain penelitian, populasi partisipan, jenis olahraga, maupun teknologi yang digunakan. Mayoritas penelitian menggunakan desain observasional atau validasi reliabilitas sensor dengan sampel atlet amatir hingga semi-profesional, sementara keterlibatan atlet elit atau Olimpiade masih terbatas. Jenis teknologi wearable yang paling dominan adalah inertial measurement units (IMU) yang menggabungkan akselerometer, giroskop, dan magnetometer untuk mengukur variabel kinematika dan kinetika, disusul sensor fisiologis seperti detak jantung, oksigen, dan EMG. Pengukuran lebih sering dilakukan pada setting latihan atau simulasi laboratorium dibandingkan dalam kompetisi nyata, dengan analisis data yang cenderung retrospektif meskipun tren menuju feedback real-time mulai berkembang, terutama pada cabang olahraga seperti renang. Dari segi olahraga Olimpiade, wearable banyak diaplikasikan pada cabang atletik, renang, sepak bola, dan olahraga beregu lainnya, sementara cabang yang lebih teknis seperti gimnastik atau anggar masih jarang diteliti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wearable mampu memberikan informasi terkait external dan internal workload, pola gerakan, serta indikator performa spesifik cabang olahraga, namun tingkat akurasi dan reliabilitas masih sangat bergantung pada faktor seperti penempatan sensor, intensitas gerakan, dan kondisi lingkungan. Dengan demikian, meskipun wearable technology menawarkan potensi besar dalam pemantauan performa atlet Olimpiade, masih terdapat gap penelitian terutama terkait validasi di kondisi kompetisi nyata, penggunaan pada atlet elit, serta standarisasi protokol pengukuran.



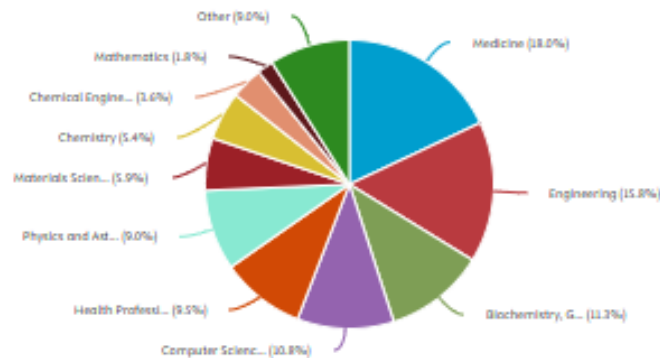
Gambar 2. Aktivitas publikasi tiap tahunnya

Secara deskriptif, grafik memperlihatkan bahwa aktivitas publikasi pada awal dekade (2011–2016) masih sangat rendah, dengan hanya 0–1 dokumen per tahun. Mulai tahun 2017, terjadi peningkatan bertahap hingga mencapai 5 dokumen, menandakan mulai tumbuhnya minat peneliti terhadap topik ini. Peningkatan yang lebih tajam terjadi antara tahun 2020–2021, di mana jumlah publikasi melonjak signifikan hingga sekitar 14 dokumen, mencerminkan fase awal adopsi luas teknologi wearable dalam riset olahraga.

Meskipun sempat mengalami sedikit penurunan pada 2022, tren kembali meningkat secara drastis pada 2023–2024, mencapai puncak sekitar 25 dokumen pada tahun 2024. Hal ini menunjukkan bahwa riset terkait tema ini mengalami perkembangan eksponensial selama lima tahun terakhir. Penurunan relatif pada tahun 2025 (sekitar 15 dokumen) kemungkinan disebabkan oleh periode pengumpulan data yang belum lengkap karena tahun tersebut masih berjalan.

Secara umum, grafik ini menegaskan bahwa penelitian mengenai teknologi wearable dan analisis biomekanika olahraga mengalami pertumbuhan progresif dan berkelanjutan, khususnya setelah tahun 2020. Tren tersebut mengindikasikan meningkatnya kesadaran akademik dan praktis terhadap pentingnya pendekatan berbasis data dalam evaluasi performa atlet, pencegahan cedera, serta optimalisasi pelatihan olahraga modern.

Documents by subject area



Gambar 2. Diagram bidang keilmuan publikasi

Grafik “Documents by Subject Area” di atas menunjukkan distribusi bidang keilmuan dari publikasi penelitian terkait — misalnya dalam konteks teknologi wearable dan analisis biomekanika olahraga. Berdasarkan diagram lingkaran tersebut, dapat diidentifikasi bahwa tiga bidang dominan yang paling banyak berkontribusi terhadap jumlah publikasi adalah: Engineering (15.8%), Biochemistry, Genetics and Molecular Biology (13.1%), dan Medicine (18.0%). Dominasi tiga bidang ini menunjukkan bahwa penelitian tentang teknologi wearable tidak hanya bersifat rekayasa perangkat (engineering-based), tetapi juga kuat dalam aspek medis dan fisiologis, terutama dalam pemantauan biometrik dan analisis performa tubuh manusia.

Bidang Computer Science (10.8%) juga berperan penting, menunjukkan pergeseran paradigma menuju integrasi kecerdasan buatan (AI), machine learning, dan analisis data besar (big data analytics) dalam riset olahraga modern. Selain itu, Health Professions (8.5%) turut mendukung implementasi hasil penelitian pada konteks praktis, seperti rehabilitasi, latihan kebugaran, dan pelatihan atletik.

Sementara itu, bidang ilmu dasar seperti Physics and Astronomy (5.0%), Material Science (5.9%), dan Chemistry (6.4%) berkontribusi pada pengembangan sensor dan bahan pendukung perangkat wearable, seperti peningkatan sensitivitas sensor, fleksibilitas bahan, dan daya tahan terhadap kondisi ekstrem. Disusul oleh Chemical Engineering (8.0%) dan Mathematics (1.8%) yang berperan dalam pengembangan algoritma analisis serta model kinetika tubuh.

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa penelitian terkait teknologi wearable bersifat multidisipliner, melibatkan sinergi antara sains teknik, biomedis, dan komputasi. Dominasi bidang medicine dan engineering mencerminkan orientasi riset yang kuat terhadap penerapan praktis dalam kesehatan, performa olahraga, dan pencegahan cedera, sejalan dengan perkembangan era Sport Science 4.0 yang menekankan pada integrasi teknologi digital dan fisiologi manusia berbasis data real-time.

Tabel 3. Olahraga Olimpiade × Teknologi Kenakan dalam Studi yang Ditinjau

Olympic Sport / Cabang	GPS	Accelerometer	HR Monitor	IMU / Motion Sensor	Power Meter	Sweat Sensor	HME Device / Sensor Pernapasan
Football (Soccer)	✓	✓	✓	✓*	–	–	–
Basketball	✓	✓	✓	✓*	–	–	–
Volleyball	–	✓	–	✓ (VERT jump, limb IMU)	–	–	–
Rugby Sevens	✓	✓	✓	✓*	–	–	–
Baseball / Softball	–	✓	–	✓ (shoulder / bat IMU)	–	–	–
Taekwondo	–	✓	–	✓ (full-body IMU / motion capture)	–	–	–
Swimming	–	✓ (waterproof accelerometer)	✓ (water HR)	✓ (water IMU)	–	–	–
Gymnastics	–	✓	–	✓ (multiple IMU)	–	–	–
Athletics / Running	✓	✓	✓	✓ (foot / segment IMU)	–	✓	–
Cycling	✓	✓	✓	✓	✓	✓	–
Skiing	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
Snowboarding	–	✓	–	✓ (IMU kinematics)	–	–	–

Tabel di atas menunjukkan variasi penerapan teknologi *wearable* pada berbagai cabang olahraga Olimpiade, dengan fokus pada tujuh kategori sensor utama, yaitu *Global Positioning System (GPS)*, *accelerometer*, *heart rate (HR) monitor*, *Inertial Measurement Unit (IMU)* atau *motion sensor*, *power meter*, *sweat sensor*, dan *human metabolic exchange (HME) device* atau sensor pernapasan. Secara umum, terlihat bahwa olahraga beregu seperti sepak bola, basket, dan rugby merupakan cabang yang paling banyak mengintegrasikan berbagai jenis sensor, terutama GPS, accelerometer, dan HR monitor. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan pemantauan beban kerja eksternal dan internal secara simultan dalam konteks aktivitas berintensitas tinggi dan berpola tidak menentu.

Sebaliknya, pada cabang olahraga yang bersifat teknik-spesifik seperti voli, baseball, taekwondo, dan senam, penggunaan sensor IMU dan motion sensor menjadi dominan. Sensor ini berfungsi untuk menangkap data biomekanik gerakan, seperti rotasi sendi, kecepatan sudut, serta posisi tubuh tiga dimensi. Misalnya, pada voli digunakan sensor VERT untuk mendeteksi tinggi lompatan dan frekuensi jump count, sedangkan pada baseball dan taekwondo digunakan IMU berbasis bahu dan anggota gerak untuk menganalisis efisiensi gerak dan potensi risiko cedera.

Pada olahraga air seperti renang, penggunaan accelerometer dan IMU tahan air memungkinkan analisis pola kayuhan serta kecepatan tubuh di dalam air, sementara HR monitor tahan air digunakan untuk menilai respons fisiologis terhadap intensitas latihan. Cabang olahraga lain yang berorientasi pada performa mekanis, seperti bersepeda dan atletik, menunjukkan penggunaan yang luas dari GPS, HR monitor, accelerometer, dan power meter untuk mengukur kecepatan, jarak, daya, serta beban latihan. Selain itu, sensor keringat (*sweat sensor*) mulai

digunakan dalam olahraga ketahanan seperti lari dan bersepeda untuk mengamati kehilangan elektrolit dan hidrasi tubuh.

Dalam olahraga ekstrem seperti ski dan snowboarding, penggunaan accelerometer, IMU, dan sensor pernapasan semakin berkembang. Sensor tersebut digunakan untuk mengukur percepatan, rotasi tubuh, dan pola ventilasi pada kondisi suhu ekstrem, serta dikombinasikan dengan sweat sensor untuk menilai respon termoregulasi tubuh.

Secara keseluruhan, temuan dalam tabel ini menegaskan bahwa perkembangan teknologi wearable telah bergerak ke arah integrasi multi-sensor, di mana kombinasi GPS, accelerometer, IMU, dan HR monitor menjadi standar baru untuk pemantauan beban latihan dan performa atlet secara holistik. Penggunaan sensor-sensor tersebut memberikan peluang besar bagi pelatih dan peneliti dalam mengembangkan sistem pemantauan berbasis data real-time, mendukung pencegahan cedera, serta meningkatkan akurasi evaluasi performa atlet. Namun demikian, tantangan yang masih dihadapi antara lain terkait validasi data di kondisi lapangan, kalibrasi antar-perangkat, serta keterbatasan penggunaan sensor tertentu seperti *power meter* dan *HME device* yang masih dominan di laboratorium.

Pembahasan dan Diskusi

Hasil systematic literature review menunjukkan bahwa wearable technology memainkan peran strategis dalam pemantauan performa atlet lintas cabang olahraga. Kualitas studi yang direview bervariasi, mulai dari desain penelitian, jumlah sampel, hingga kedalaman analisis. Studi berskala luas seperti Palanisamy et al. (2023) menegaskan peran GPS, akselerometer, dan force plates dalam memantau variabel utama seperti player load, perubahan arah, serta rasio beban acute:chronic yang berkontribusi terhadap pencegahan cedera, manajemen beban latihan, dan rehabilitasi atlet. Sebaliknya, penelitian teknis dengan desain eksperimental berfokus pada olahraga tertentu, misalnya Moran et al. (2015) pada golf. Namun, mayoritas penelitian masih menggunakan sampel terbatas dan melibatkan atlet non-elit, sehingga generalisasi ke konteks kompetisi tingkat Olimpiade perlu dilakukan dengan hati-hati.

Jenis wearable technology yang digunakan dalam studi sangat beragam, meliputi inertial measurement units (IMU), GPS, akselerometer, body sensor networks, portable force plates, hingga sensor khusus seperti torque sensor pada baseball. IMU mendominasi karena kemampuannya merekam data kinematika secara detail, sementara GPS lebih banyak digunakan pada olahraga beregu untuk memantau beban eksternal dan pola pergerakan (Sun et al., 2019). Seiring perkembangan, penggunaan sensor juga semakin diarahkan pada sport-specific customization, di mana sensor dipilih sesuai kebutuhan teknik cabang olahraga tertentu seperti golf, panahan, atau baseball.

Dari segi pengumpulan dan pengolahan data, wearable technology mencatat variabel fisiologis (detak jantung, VO_2 max, kelelahan), biomekanik (kecepatan, akselerasi, lompatan, torque), serta teknis (gerakan olahraga spesifik). Sebagian besar studi masih melakukan analisis data secara offline menggunakan perangkat lunak biomekanika, meskipun tren terbaru mulai beralih pada real-time processing yang memungkinkan adanya umpan balik langsung kepada atlet (Shikhantsov et al., 2020). Namun, permasalahan seperti standar penempatan sensor, sampling rate, serta filtrasi sinyal masih menjadi tantangan dalam memastikan keandalan data.

Lingkungan pengujian pada umumnya dilakukan dalam kondisi latihan atau laboratorium yang relatif terkontrol, seperti pada studi golf, panahan, dan kano yang menggunakan protokol standar untuk menilai efektivitas sensor. Hanya sedikit penelitian yang dilakukan di situasi kompetisi nyata, padahal faktor eksternal seperti tekanan psikologis, cuaca, dan interferensi sinyal dapat memengaruhi validitas data (Sebastian Giudice et al., 2018). Hal ini menjadi keterbatasan penting, karena performa atlet di kompetisi sering kali berbeda dibandingkan saat latihan.

Secara umum, wearable technology terbukti memiliki peran multipel dalam pemantauan performa atlet. Pertama, teknologi ini berperan dalam pencegahan cedera dengan menganalisis beban kerja serta mendeteksi risiko biomekanik (Bogdan, 2019);(Gabbett, 2016). Kedua, wearable mendukung peningkatan keterampilan teknik dengan menyediakan data objektif tentang kualitas gerakan (Bogdan, 2019);(Gabbett, 2016). Ketiga, wearable memungkinkan real-time feedback yang memfasilitasi koreksi teknik segera saat latihan (McGinnis et al., 2016). Keempat, wearable memperkuat praktik evidence-based coaching dengan menyediakan data terintegrasi untuk perencanaan latihan maupun strategi kompetisi (Baca et al., 2021).

Meskipun menawarkan keunggulan dalam hal monitoring real-time, akurasi, dan kemudahan penggunaan, wearable technology juga menghadapi sejumlah keterbatasan. Validitas sensor masih bervariasi antar cabang olahraga, biaya perangkat relatif tinggi, serta isu privasi dan pengelolaan data atlet masih menjadi perdebatan (Arokanam et al., 2019). Selain itu, minimnya penelitian dengan sampel atlet elit membatasi pemahaman tentang penerapannya di level kompetisi internasional.

Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa wearable technology dapat membantu pelatih, atlet, dan sport scientist dalam mengoptimalkan performa sekaligus menurunkan risiko cedera. Namun, penelitian selanjutnya perlu memperluas konteks ke kondisi kompetisi nyata, mengembangkan standar analisis data, serta mengintegrasikan wearable dengan machine learning untuk prediksi performa maupun risiko cedera. Dengan demikian, wearable bukan sekadar alat monitoring, tetapi juga dapat berfungsi sebagai decision-support system dalam praktik kepelatihan berbasis bukti.

Kesimpulan

Wearable technology memiliki peran signifikan dalam pemantauan performa atlet melalui pengukuran objektif terhadap beban latihan, keterampilan teknik, dan risiko cedera. Perangkat seperti IMU, GPS, dan akselerometer mampu memberikan umpan balik real-time yang mendukung pelatih dalam pengambilan keputusan berbasis data. Meskipun demikian, tantangan terkait validitas sensor, biaya, serta privasi data masih perlu diatasi. Secara keseluruhan, wearable technology berpotensi menjadi sistem pendukung keputusan yang efektif dalam sport science dan kepelatihan modern, terutama bila terintegrasi dengan analitik prediktif dan kecerdasan buatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aroganam, G., Manivannan, N., & Harrison, D. (2019). Consumer Sport Applications. *Sensors*, 19, 1–26.
2. Baldwin, M., Lambe, R., Altini, M., & Caul, B. (2025). Privacy in consumer wearable technologies : a living systematic analysis of data policies across leading manufacturers. *Npj | Digital Medicine Published*. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-01757-1>
3. Bogdan, P. (2019). Taming the Unknown Unknowns in Complex Systems: Challenges and Opportunities for Modeling, Analysis and Control of Complex (Biological) Collectives. *Frontiers in Physiology*, 10(December), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01452>
4. Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
5. Guppy, F., Muniz-Pardos, B., Angeloudis, K., Grivas, G. V., Pitsiladis, A., Bundy, R., Zelenkova, I., Tanisawa, K., Akiyama, H., Keramitsoglou, I., Miller, M., Knopp, M., Schweizer, F., Luckfiel, T., Ruiz, D., Racinais, S., & Pitsiladis, Y. (2023). Technology Innovation and Guardrails in Elite Sport: The Future is Now. *Sports Medicine*, 53(s1), 97–113. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01913-1>
6. Lacey, A., Whyte, E., O’Keeffe, S., O’Connor, S., & Moran, K. (2022). *A qualitative examination of the factors affecting the adoption of injury focused wearable technologies in recreational runners*. 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265475>
7. Latino, F., & Tafuri, F. (2024). Wearable Sensors and the Evaluation of Physiological Performance in Elite Field Hockey Players. *Sports*, 12(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/sports12050124>
8. Moran, K., Richter, C., Farrell, E., Mitchell, E., Ahmadi, A., & O’Connor, N. E. (2015). Detection of running asymmetry using a wearable sensor system. *Procedia Engineering*, 112, 180–183. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.196>
9. Palanisamy, S., Thangaraj, M., Moiduddin, K., Alkhalefah, H., Nski, P. K.-O., & Chin, C. S. (2023). *Nanoparticle-Based Flexible Capacitive Sensor for Automotive*.
10. Sebastian Giudice, J., Poulard, D., Nie, B., Wu, T., & Panzer, M. B. (2018). A cortical thickness mapping method for the coxal bone using morphing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6(OCT), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00149>
11. Seçkin, A. Ç., Ateş, B., & Seçkin, M. (2023). Review on Wearable Technology in Sports : Concepts , Challenges and Opportunities. *Appl. Sci.* 2023, 13(18), 10399; <https://doi.org/10.3390/App131810399>.
12. Shikhantsov, S., Thielens, A., Aerts, S., Verloock, L., Torfs, G., Martens, L., Demeester, P., & Joseph, W. (2020). Ray-tracing-based numerical assessment of the spatiotemporal duty cycle of 5G massive mimo in an outdoor urban environment. *Applied Sciences*

(Switzerland), 10(21), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app10217631>

13. R., Chen, B., Lv, Z., Mei, J., Zang, H., Wei, Z., & Sun, G. (2019). Research on robust day-ahead dispatch considering primary frequency response of wind turbine. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/app9091784>