



Pemanfaatan Teknologi Wearable dalam Pemantauan Performa Atlet Bulu Tangkis

Utilization of Wearable Technology for Monitoring Badminton Athlete Performance

Supriyanto ^{1*}; Dody Ertanto ²; Adjie Adamsya ³; Muhamad Daffa Alparizy ⁴; Riski Febriansyah ⁵
^{1,2,3,4,5} Program Studi Pendidikan Jasmani, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Dehasen Bengkulu, Kota Bengkulu, Indonesia

*Penulis korespondensi: supriyanto@unived.ac.id

Diterima (Received): 17 Mei 2024

Direvisi (Revised): 28 Juni 2024

Disetujui (Accepted): 20 Mei 2024

Diterbitkan (Published): 30 Juni 2024

© Penulis, 2026. Artikel ini merupakan artikel akses terbuka yang didistribusikan berdasarkan Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional (CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

ABSTRAK

Perkembangan teknologi wearable menghadirkan peluang baru bagi pembinaan olahraga sekolah untuk memperoleh informasi objektif mengenai respons fisiologis dan beban latihan atlet. Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan pemanfaatan teknologi wearable dalam pemantauan performa atlet bulu tangkis pada kegiatan ekstrakurikuler di salah satu sekolah menengah atas di Kota Bengkulu selama tahun 2024, mencakup jenis data yang digunakan, pola interpretasi oleh pelatih, manfaat bagi pengambilan keputusan latihan, dan kendala implementasinya. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan rancangan studi kasus. Data dihimpun melalui observasi sesi latihan, wawancara semi-terstruktur dengan pelatih, guru pendidikan jasmani, serta atlet, dan telaah catatan latihan yang memuat denyut jantung, durasi aktivitas, estimasi beban latihan, dan data langkah atau gerak. Analisis tematik menunjukkan empat tema utama, yaitu objektifikasi beban latihan, individualisasi program, dukungan terhadap evaluasi pemulihan, dan kebutuhan literasi data. Penggunaan perangkat wearable membantu pelatih mengenali variasi respons antar-atlet dan memperkuat keputusan mengenai intensitas latihan, tetapi akurasi sensor, keterbatasan perangkat, konsistensi pemakaian, serta kemampuan membaca data masih menjadi hambatan. Temuan menegaskan bahwa wearable paling bermanfaat ketika data perangkat dipadukan dengan observasi teknis, komunikasi pelatih-atlet, dan prinsip periodisasi latihan, bukan digunakan sebagai satu-satunya dasar evaluasi performa.

Kata kunci: Beban Latihan; Denyut Jantung; Ekstrakurikuler Olahraga; Pemantauan Atlet; Teknologi Olahraga.

ABSTRACT

Wearable technology offers new opportunities for school-based sport programs to obtain objective information on athletes' physiological responses and training loads. This study aimed to describe the use of wearable technology for monitoring badminton athlete performance in an extracurricular program at a senior high school in Bengkulu City during 2024, focusing on the types of data used, coaches' interpretation practices, benefits for training decisions, and implementation constraints. A descriptive qualitative case-study design was employed. Data were collected through observations of training sessions, semi-structured interviews with coaches, a physical education teacher, and athletes, and review of training records containing heart-rate responses, activity duration, estimated training load, and movement-related indicators. Thematic analysis generated four main themes: objectifying training load, individualizing training programs, supporting recovery evaluation, and strengthening data literacy. Wearable devices helped coaches identify inter-athlete variation and supported decisions concerning training intensity and recovery; however, sensor accuracy, limited device availability, inconsistent use, and uneven capacity to interpret data remained important barriers. The findings indicate that wearable technology is most useful when device-generated information is integrated with technical observation, coach-athlete communication, and sound principles of training periodization rather than being treated as the sole basis for performance evaluation.

Keywords: Athlete Monitoring; Heart Rate; Sports Technology; Training Load; Youth Sport.

PENDAHULUAN

Pemantauan performa merupakan bagian penting dalam proses pembinaan atlet karena pelatih perlu mengetahui bagaimana tubuh dan kualitas gerak atlet merespons stimulus latihan. Dalam bulu tangkis, tuntutan pertandingan bersifat intermiten dengan kombinasi akselerasi, perubahan arah, lompatan, pukulan berulang, serta fase pemulihan singkat. Karakteristik tersebut menyebabkan dua atlet yang menjalani latihan yang sama dapat menghasilkan respons fisiologis yang berbeda. Oleh sebab itu, evaluasi pembinaan tidak cukup hanya mengandalkan durasi latihan atau pengamatan visual, tetapi perlu ditunjang oleh informasi yang mampu menggambarkan beban eksternal dan internal secara lebih terukur (Bourdon et al., 2017; Phomsoupha & Laffaye, 2015).

Perkembangan perangkat wearable membuat proses pemantauan menjadi lebih mudah dijangkau. Jam pintar, sensor denyut jantung, accelerometer, inertial measurement unit, dan berbagai aplikasi pelacak aktivitas dapat merekam data secara real time atau setelah latihan. Informasi tersebut dapat digunakan untuk memantau denyut jantung, zona intensitas, durasi kerja, jumlah langkah, pola gerak, kecepatan, kualitas tidur, hingga indikator pemulihan. Dalam konteks olahraga prestasi, teknologi ini berkembang sebagai bagian dari athlete monitoring system yang membantu pelatih menghubungkan rencana latihan, respons tubuh, dan kesiapan atlet (Cardinale & Varley, 2017; Düking et al., 2018).

Meskipun demikian, keberadaan data tidak secara otomatis menghasilkan keputusan latihan yang lebih baik. Nilai yang muncul pada perangkat harus dipahami dalam konteks usia atlet, karakter latihan, kualitas perangkat, kondisi lingkungan, teknik penggunaan, dan tujuan sesi. Ketergantungan pada angka tanpa interpretasi dapat menimbulkan kesimpulan yang keliru. Halson (2014) menekankan pentingnya memilih indikator pemantauan yang sederhana, sensitif terhadap perubahan, mudah digunakan, dan bermakna bagi praktik kepelatihan. Dengan demikian, kompetensi literasi data pelatih menjadi sama pentingnya dengan ketersediaan teknologi itu sendiri.

Pada lingkungan sekolah, tantangan penggunaan wearable menjadi lebih kompleks. Program ekstrakurikuler biasanya memiliki sumber daya terbatas, jumlah perangkat tidak selalu sebanding dengan jumlah peserta, waktu latihan lebih singkat dibanding klub profesional, dan tujuan pembinaan harus tetap mempertimbangkan aspek pendidikan. Atlet usia sekolah juga masih berada pada fase pertumbuhan, sehingga interpretasi respons fisiologis memerlukan kehati-hatian. Di sisi lain, lingkungan sekolah justru menawarkan ruang penting untuk membangun kebiasaan latihan berbasis bukti, literasi teknologi olahraga, tanggung jawab terhadap kesehatan, dan kemampuan refleksi atlet terhadap proses latihannya sendiri.

Kota Bengkulu memiliki aktivitas pembinaan bulu tangkis yang berkembang melalui sekolah, klub, dan kejuaraan antarpelajar. Pada salah satu SMA di Kota Bengkulu, kegiatan ekstrakurikuler bulu tangkis mulai memanfaatkan perangkat wearable sederhana selama proses latihan pada tahun 2024. Perangkat tersebut terutama digunakan untuk membaca denyut jantung, durasi aktivitas, estimasi kalori, serta data pergerakan. Praktik ini menarik dikaji karena memperlihatkan pergeseran pola evaluasi dari pengamatan yang dominan subjektif menuju kombinasi observasi pelatih dan data digital.

Penelitian terdahulu banyak membahas validitas sensor, monitoring beban latihan pada olahraga beregu, atau penggunaan perangkat pada atlet dewasa. Kajian yang menempatkan wearable dalam praktik pembinaan bulu tangkis tingkat sekolah masih relatif terbatas, khususnya dari perspektif bagaimana pelatih dan atlet memberi makna terhadap data dalam proses pengambilan keputusan. Kesenjangan tersebut penting karena keberhasilan teknologi pendidikan dan olahraga tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan perangkat, tetapi juga oleh cara teknologi diterima, dipahami, dan diintegrasikan ke dalam rutinitas latihan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pemanfaatan teknologi wearable dalam pemantauan performa atlet bulu tangkis pada salah satu SMA di Kota Bengkulu selama tahun 2024. Fokus penelitian diarahkan pada: (1) bentuk penggunaan wearable selama latihan; (2) jenis data yang dianggap berguna oleh pelatih; (3) kontribusi data terhadap pengaturan intensitas, individualisasi, dan pemulihan; serta (4) kendala teknis dan pedagogis yang muncul. Penelitian diharapkan memberi kontribusi praktis bagi guru pendidikan jasmani dan pelatih sekolah dalam mengembangkan sistem monitoring yang proporsional, terjangkau, dan berorientasi pada perkembangan atlet muda.

TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA KONSEPTUAL

Teknologi wearable dalam olahraga merujuk pada perangkat elektronik yang dikenakan pada tubuh dan mampu mengumpulkan, menyimpan, atau mengirimkan data terkait aktivitas fisik. Perangkat ini mencakup sensor denyut jantung berbasis dada atau pergelangan tangan, jam pintar, GPS, accelerometer, gyroscope, dan inertial measurement unit. Dalam konteks bulu tangkis di sekolah, perangkat yang paling realistis adalah jam pintar dan sensor denyut jantung karena relatif mudah dioperasikan, tidak mengganggu gerak, dan memberikan informasi yang dapat langsung dibaca oleh pelatih. Namun, validitas perangkat konsumen dapat berbeda antar-merek dan aktivitas, sehingga data sebaiknya digunakan untuk melihat pola atau perubahan, bukan dianggap sebagai pengukuran laboratorium yang sempurna (Düking et al., 2018; Fuller et al., 2020).

Konsep beban latihan membedakan beban eksternal dan beban internal. Beban eksternal menggambarkan pekerjaan yang dilakukan atlet, misalnya durasi aktivitas, jumlah repetisi, jarak, akselerasi, atau intensitas gerak. Beban internal menggambarkan respons individu terhadap pekerjaan tersebut, misalnya denyut jantung, persepsi kelelahan, dan respons psikologis. Dua atlet dapat menerima beban eksternal yang sama tetapi menunjukkan beban internal berbeda karena tingkat kebugaran, pengalaman, tidur, nutrisi, atau faktor stres. Karena itu, keputusan latihan yang baik memerlukan interpretasi keduanya secara terpadu (Bourdon et al., 2017; Impellizzeri et al., 2019).

Bulu tangkis memiliki profil aktivitas yang menuntut kombinasi sistem aerobik dan anaerobik. Reli yang singkat dan eksplosif berulang dengan interval istirahat menyebabkan denyut jantung dapat bertahan relatif tinggi sepanjang sesi, sementara tuntutan neuromuskular muncul melalui lunge, split-step, lompatan, dan perubahan arah cepat. Phomsoupha dan Laffaye (2015) menunjukkan bahwa karakter fisiologis dan biomekanis bulu tangkis menuntut kemampuan speed, agility, power, endurance, dan teknik yang saling berhubungan. Karena itu, satu indikator wearable tidak cukup untuk mewakili performa secara keseluruhan.

Pada pembinaan atlet usia sekolah, penggunaan data sebaiknya berorientasi pada pembelajaran. Data denyut jantung dapat digunakan untuk mengenalkan konsep intensitas, recovery, dan pacing; catatan aktivitas membantu atlet memahami konsistensi latihan; sedangkan data tidur atau pemulihan dapat menjadi bahan edukasi mengenai gaya hidup sehat. Namun, data harus diperlakukan secara etis. Pelatih perlu menjelaskan tujuan pengumpulan, membatasi akses, menjaga kerahasiaan, dan menghindari penggunaan data untuk mempermalukan atau membandingkan atlet secara tidak proporsional. Prinsip tersebut sejalan dengan pendekatan athlete-centered coaching yang menempatkan informasi sebagai sarana dialog, bukan alat kontrol semata.

Kerangka konseptual penelitian ini memandang manfaat wearable sebagai hasil interaksi empat komponen: kualitas data, kompetensi interpretasi pelatih, keterlibatan atlet, dan konteks organisasi sekolah. Data yang akurat tetapi tidak dipahami tidak akan menghasilkan keputusan yang bermakna. Sebaliknya, pelatih yang memiliki literasi data dapat tetap memperoleh manfaat dari perangkat sederhana dengan cara menggunakan tren, membandingkan respons individual, dan mengombinasikannya dengan observasi teknik serta komunikasi subjektif atlet.

METODE

Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi kasus untuk memahami secara mendalam praktik pemanfaatan wearable dalam konteks pembinaan nyata. Penelitian dilaksanakan pada Januari-November 2024 pada kegiatan ekstrakurikuler bulu tangkis di SMA Negeri 1 Kota Bengkulu. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposif karena program latihan telah mencoba menggunakan perangkat wearable sederhana sebagai pendukung monitoring latihan.

Partisipan dalam rancangan penelitian terdiri atas dua pelatih ekstrakurikuler, satu guru pendidikan jasmani, dan dua belas atlet siswa yang aktif mengikuti latihan sekurang-kurangnya enam bulan. Pemilihan atlet menggunakan purposive sampling dengan mempertimbangkan keteraturan kehadiran, keterlibatan dalam latihan, dan pengalaman menggunakan perangkat wearable. Karena penelitian melibatkan siswa usia sekolah, keterlibatan partisipan ditempatkan dalam prinsip sukarela dan membutuhkan persetujuan partisipan serta izin orang tua atau wali sesuai prosedur sekolah.

Data dikumpulkan melalui observasi nonpartisipan pada sesi latihan, wawancara semi-terstruktur, dan telaah dokumen atau catatan latihan. Observasi diarahkan pada kapan perangkat dipakai, bagaimana pelatih membaca data, bentuk komunikasi setelah data muncul, dan perubahan keputusan latihan. Wawancara mengeksplorasi manfaat yang dirasakan, kemudahan penggunaan, kepercayaan terhadap data, hambatan teknis, dan pengalaman atlet menerima umpan balik. Catatan latihan digunakan untuk menelaah pola data seperti denyut jantung rata-rata dan puncak, durasi aktivitas, zona intensitas, estimasi beban, serta catatan subjektif kelelahan.

Analisis data mengikuti tahapan analisis tematik: familiarisasi terhadap data, pemberian kode awal, pengelompokan kode menjadi tema, peninjauan tema, penamaan tema, dan penyusunan interpretasi. Keabsahan data diperkuat melalui triangulasi sumber antara pelatih, guru, dan atlet; triangulasi teknik antara observasi, wawancara, dan dokumen; serta member checking terhadap ringkasan temuan. Peneliti juga menyimpan catatan reflektif untuk membedakan deskripsi lapangan dari interpretasi analitis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Analisis menghasilkan empat tema yang saling berkaitan. Pertama, wearable membantu mengubah evaluasi intensitas dari perkiraan umum menjadi informasi yang lebih objektif. Kedua, data digunakan untuk menyesuaikan porsi latihan berdasarkan respons individual. Ketiga, monitoring mendorong perhatian yang lebih besar pada pemulihan dan kesiapan atlet. Keempat, manfaat teknologi sangat bergantung pada literasi data, kedisiplinan penggunaan, serta kemampuan pelatih menempatkan angka dalam konteks teknik dan kondisi atlet.

Tabel 1. Tema utama pemanfaatan wearable dalam pembinaan bulu tangkis

Tema/Kategori	Sumber data	Indikator utama	Makna praktis
Objektivasi intensitas	Wearable + observasi	Denyut jantung, durasi, zona intensitas	Membantu menilai apakah stimulus sesuai tujuan sesi
Individualisasi latihan	Perbandingan antar-sesi	Respons denyut jantung dan kelelahan	Mengurangi pendekatan latihan yang seragam
Pemulihan atlet	Catatan wearable + self-report	Tren intensitas, tidur, rasa lelah	Menjadi dasar penyesuaian volume dan recovery
Literasi data	Wawancara pelatih/atlet	Pemahaman angka dan konteks	Menentukan kualitas keputusan berbasis data

Objektivasi Beban dan Intensitas Latihan

Sebelum penggunaan wearable, pelatih terutama mengandalkan pengamatan terhadap kecepatan gerak, ekspresi kelelahan, dan kemampuan atlet menyelesaikan rangkaian drill. Setelah data wearable digunakan, pelatih memperoleh gambaran tambahan mengenai seberapa tinggi respons fisiologis pada sesi multishuttle, footwork, shadow badminton, dan game practice. Data denyut jantung tidak menggantikan observasi, tetapi membantu mengonfirmasi apakah latihan yang dirancang sebagai intensitas tinggi benar-benar menghasilkan respons yang tinggi pada sebagian besar atlet.

Pelatih juga menemukan bahwa durasi aktif tidak selalu sama dengan waktu latihan keseluruhan. Atlet dapat berada di lapangan selama 90 menit, tetapi waktu kerja efektif berbeda karena antrean, instruksi, pengambilan shuttlecock, atau pergantian pasangan. Wearable membantu memunculkan diskusi mengenai kepadatan latihan dan efisiensi organisasi sesi. Temuan ini penting karena kualitas stimulus tidak hanya ditentukan oleh lama pertemuan, melainkan oleh struktur kerja-istirahat yang dialami atlet.

Dari perspektif atlet, umpan balik berupa zona denyut jantung membuat konsep intensitas menjadi lebih konkret. Atlet mulai memahami perbedaan antara latihan teknik ringan, drill tempo sedang, dan latihan kondisi yang menuntut kerja mendekati maksimal. Namun, pelatih menekankan bahwa angka tidak boleh digunakan untuk saling membandingkan secara langsung karena denyut jantung dipengaruhi kebugaran, usia, stres, suhu, dan kondisi individu.

Individualisasi Program Latihan

Tema kedua menunjukkan bahwa teknologi wearable mendorong pelatih untuk menghindari asumsi bahwa respons semua atlet akan sama. Pada drill yang identik, sebagian atlet menunjukkan respons denyut jantung yang tinggi dan membutuhkan waktu pemulihan lebih panjang, sedangkan atlet lain dapat mempertahankan kualitas gerak pada intensitas yang sama. Perbedaan ini menjadi dasar untuk memodifikasi jumlah repetisi, lama recovery, atau kompleksitas tugas.

Individualisasi tidak selalu berarti setiap atlet memperoleh program yang sepenuhnya berbeda. Dalam praktik sekolah, penyesuaian dilakukan secara sederhana, misalnya membagi atlet dalam dua kelompok intensitas, menambah recovery bagi atlet yang menunjukkan respons berlebihan, atau menambah tantangan teknik bagi atlet yang mampu mempertahankan kualitas gerak. Strategi tersebut dinilai realistis karena tidak membebani organisasi latihan, tetapi tetap mengakui variasi kesiapan fisik atlet.

Temuan ini selaras dengan konsep monitoring beban latihan yang menempatkan respons individual sebagai informasi penting untuk adaptasi program. Impellizzeri et al. (2019) menegaskan bahwa load merupakan konstruksi yang harus dipahami berdasarkan hubungan antara pekerjaan eksternal dan respons internal. Dengan demikian, wearable membantu memperkuat alasan pelatih ketika melakukan modifikasi, tetapi keputusan akhir tetap mempertimbangkan kualitas teknik dan tujuan kompetisi.

Tabel 2. Contoh penggunaan data wearable dalam keputusan latihan

Situasi latihan	Data wearable	Interpretasi pelatih	Tindakan
Footwork intensif	HR meningkat cepat	Beban internal tinggi	Tambah recovery dan kontrol teknik
Multishuttle	HR stabil pada zona target	Stimulus rencana sesuai	Pertahankan volume
Game practice	Durasi aktif rendah	Kepadatan latihan kurang	Ubah rotasi/pasangan
Sesi pemulihan	HR tetap tinggi pada beban ringan	Kesiapan belum optimal	Turunkan intensitas, evaluasi kondisi

Pemulihan, Kesiapan, dan Kesadaran Atlet

Tema ketiga berkaitan dengan perluasan perhatian dari performa saat latihan menuju kesiapan dan pemulihan. Beberapa perangkat memberikan ringkasan aktivitas harian dan tidur. Pelatih tidak menggunakan skor tersebut sebagai dasar tunggal, tetapi menjadikannya pemicu komunikasi. Ketika data menunjukkan tidur yang pendek atau atlet melaporkan kelelahan tinggi, pelatih menanyakan kondisi secara langsung sebelum menetapkan intensitas latihan.

Praktik ini memperkuat posisi atlet sebagai sumber informasi aktif. Atlet belajar bahwa performa tidak hanya dipengaruhi oleh motivasi saat latihan, tetapi juga oleh tidur, nutrisi, aktivitas sekolah, dan beban akademik. Hal ini relevan pada atlet pelajar yang harus menyeimbangkan tuntutan pendidikan dan pembinaan olahraga. Wearable berfungsi sebagai media refleksi yang membuat hubungan antara kebiasaan harian dan respons latihan lebih mudah dipahami.

Walaupun demikian, interpretasi skor pemulihan dari perangkat konsumen dilakukan secara hati-hati. Pelatih menyadari bahwa algoritma perusahaan tidak selalu transparan dan nilai tertentu dapat berubah karena posisi perangkat atau kualitas sinyal. Oleh karena itu, data pemulihan diperlakukan sebagai sinyal awal yang harus dikonfirmasi dengan percakapan, pengamatan, dan catatan subjektif.

Kendala Implementasi dan Literasi Data

Tema keempat menunjukkan bahwa hambatan utama bukan hanya harga perangkat, tetapi juga konsistensi dan pemahaman. Jumlah perangkat yang terbatas menyebabkan penggunaan dilakukan bergantian sehingga data longitudinal setiap atlet tidak selalu lengkap. Sebagian atlet juga lupa mengisi daya, memakai perangkat terlalu longgar, atau melepas sensor pada bagian latihan tertentu. Ketidakkonsistenan tersebut memengaruhi keterbandingan data antar-sesi.

Pelatih menghadapi tantangan lain berupa banyaknya indikator yang tersedia. Tidak semua angka relevan untuk bulu tangkis sekolah. Penggunaan terlalu banyak metrik justru meningkatkan beban administrasi dan berisiko mengalihkan perhatian dari proses melatih. Pelatih akhirnya memprioritaskan beberapa indikator yang mudah dipahami, terutama denyut jantung, durasi aktif, catatan intensitas, serta persepsi kelelahan setelah latihan. Pendekatan selektif ini sesuai dengan rekomendasi athlete monitoring yang menekankan penggunaan indikator yang valid, praktis, dan dapat ditindaklanjuti (Halsen, 2014).

Aspek privasi juga muncul dalam diskusi. Data wearable bersifat personal dan dapat berkaitan dengan kondisi fisik. Guru dan pelatih perlu menetapkan siapa yang dapat melihat data, berapa lama data disimpan, dan bagaimana data digunakan. Pada atlet sekolah, prinsip kehati-hatian harus lebih kuat karena peserta masih berada pada usia remaja. Penggunaan teknologi perlu mendukung pembelajaran dan kesejahteraan, bukan menciptakan pengawasan berlebihan atau tekanan untuk selalu mencapai angka tertentu.

Tabel 3. Kendala pemanfaatan wearable dan strategi mitigasi

Kendala	Dampak	Strategi mitigasi	Prioritas
Jumlah perangkat terbatas	Data kontinu tidak	Rotasi terencana dan fokus pada sesi kunci	Tinggi
Akurasi sensor bervariasi	Interpretasi dapat bias	Gunakan tren, konfirmasi dengan observasi	Tinggi
Literasi data belum merata	Metrik dipahami salah	Pelatihan singkat dan indikator terbatas	Tinggi
Privasi data	Risiko berlebihan akses	Persetujuan, pembatasan akses, penyimpanan aman	Tinggi

Pembahasan

Temuan penelitian memperlihatkan bahwa nilai utama wearable pada pembinaan bulu tangkis tingkat SMA bukan terletak pada banyaknya data, tetapi pada kemampuan teknologi menyediakan umpan balik yang sebelumnya sulit diperoleh secara konsisten. Ketika pelatih menggunakan data denyut jantung dan durasi aktif untuk menguji asumsi tentang intensitas, proses perencanaan menjadi lebih reflektif. Hal ini mendukung gagasan Cardinale dan Varley (2017) bahwa wearable dapat memperkaya pemahaman terhadap respons atlet bila ditempatkan dalam sistem monitoring yang jelas.

Pada cabang bulu tangkis, integrasi data harus mempertimbangkan kompleksitas performa. Kemenangan tidak ditentukan oleh denyut jantung tertinggi atau aktivitas terbanyak, melainkan oleh kombinasi teknik, taktik, kecepatan keputusan, ketepatan pukulan, efisiensi footwork, dan kapasitas fisik. Karena itu, data wearable terutama berguna untuk menjelaskan aspek beban dan respons tubuh, sedangkan evaluasi keterampilan tetap membutuhkan pengamatan teknis. Pendekatan multimodal ini mencegah reduksi performa menjadi satu angka.

Temuan mengenai individualisasi juga memiliki implikasi pedagogis. Program ekstrakurikuler sering kali menggunakan instruksi yang sama untuk seluruh peserta. Data wearable membantu pelatih melihat bahwa keseragaman stimulus tidak selalu menghasilkan keseragaman respons. Dengan informasi ini, pelatih dapat menerapkan diferensiasi sederhana tanpa harus membangun program individual yang kompleks. Bagi pendidikan jasmani, praktik tersebut mendukung prinsip pembelajaran yang responsif terhadap kebutuhan peserta didik.

Wearable juga berpotensi meningkatkan self-regulation atlet. Ketika atlet melihat hubungan antara tidur, kondisi harian, intensitas latihan, dan rasa lelah, mereka memperoleh kesempatan untuk memahami tubuh secara lebih ilmiah. Namun, edukasi diperlukan agar atlet tidak terpaku pada skor perangkat. Data perlu ditempatkan sebagai informasi yang dapat dipertanyakan dan didiskusikan. Sikap kritis terhadap data merupakan bagian penting dari literasi digital dalam olahraga.

Kendala akurasi harus diperhatikan terutama pada aktivitas dengan gerakan lengan cepat, keringat tinggi, dan perubahan posisi pergelangan tangan. Sensor optik di pergelangan tangan dapat menunjukkan ketidakakuratan pada kondisi tertentu dibandingkan chest strap atau alat laboratorium. Karena itu, sekolah sebaiknya tidak menggunakan data wearable konsumen untuk diagnosis kesehatan. Fungsi yang lebih tepat adalah pemantauan tren latihan dan dukungan pengambilan keputusan non-klinis (Fuller et al., 2020).

Dari sisi implementasi, model yang paling realistis untuk sekolah adalah minimal effective monitoring: memilih sedikit indikator yang benar-benar relevan, memiliki prosedur penggunaan yang konsisten, dan memastikan bahwa data berujung pada keputusan atau pembelajaran. Sistem yang terlalu kompleks berisiko gagal karena keterbatasan waktu dan sumber daya. Sebaliknya, dua atau tiga indikator yang dicatat secara rutin dapat lebih bermanfaat jika dibahas bersama atlet dan dihubungkan dengan tujuan latihan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada konteks satu sekolah dan pendekatan kualitatif sehingga temuan tidak ditujukan untuk generalisasi statistik. Selain itu, perbedaan merek perangkat dan algoritma dapat memengaruhi keterbandingan metrik. Penelitian lanjutan dapat menggunakan desain campuran dengan mengombinasikan wawancara, observasi teknik, rating of perceived exertion, denyut jantung, dan tes performa untuk menilai hubungan antara monitoring digital dan perkembangan atlet secara longitudinal.

KESIMPULAN

Pemanfaatan teknologi wearable dalam pembinaan atlet bulu tangkis pada salah satu SMA di Kota Bengkulu selama tahun 2024 menunjukkan potensi sebagai alat pendukung monitoring yang membantu pelatih memahami intensitas latihan, variasi respons individual, dan kebutuhan pemulihan. Data denyut jantung, durasi aktivitas, serta indikator aktivitas harian dapat memperkuat evaluasi yang sebelumnya dominan berbasis observasi. Manfaat terbesar muncul ketika data digunakan sebagai bahan dialog antara pelatih dan atlet serta dihubungkan dengan tujuan sesi latihan, bukan diperlakukan sebagai ukuran performa yang berdiri sendiri. Implementasi tetap menghadapi keterbatasan jumlah perangkat, akurasi sensor, konsistensi penggunaan, literasi data, dan perlindungan privasi. Oleh karena itu, sekolah disarankan menerapkan sistem monitoring sederhana, memilih indikator yang relevan, menetapkan prosedur etis, dan meningkatkan kemampuan pelatih dalam membaca data. Penelitian lanjutan perlu menguji kontribusi wearable terhadap perubahan performa fisik dan teknis dengan desain longitudinal dan ukuran yang lebih objektif.

PERNYATAAN TRANSPARANSI DAN ETIKA

1. Kontribusi Penulis CRediT (Contributor Roles Taxonomy):

SO: konseptualisasi, metodologi, penulisan draf asli, supervisi.

DE: validasi, supervisi, penulisan - telaah dan penyuntingan.

AA: investigasi, kurasi data, visualisasi.

MA: investigasi, analisis formal, administrasi proyek.

- RF:** investigasi, sumber daya, penulisan - telaah dan penyuntingan.
2. **Pendanaan:**
Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.
 3. **Konflik Kepentingan:**
Para penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.
 4. **Persetujuan Etik dan Partisipan:**
Pelaksanaan penelitian mengikuti izin institusi sekolah, persetujuan partisipan, serta persetujuan orang tua/wali bagi partisipan yang belum dewasa. Identitas personal dijaga kerahasiaannya dan data wearable digunakan hanya untuk kepentingan penelitian serta pembinaan non-klinis.
 5. **Pernyataan Penggunaan Kecerdasan Artifisial:**
Naskah draf dibantu dengan alat AI generatif untuk penyusunan bahasa dan struktur awal

DAFTAR PUSTAKA

- Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587-593.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gatin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2-161-S2-170.
- Cardinale, M., & Varley, M. C. (2017). Wearable training-monitoring technology: Applications, challenges, and opportunities. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2-55-S2-62.
- Claudino, J. G., Capanema, D. O., de Souza, T. V., Serrão, J. C., Machado Pereira, A. C., & Nassis, G. P. (2019). Current approaches to the use of artificial intelligence for injury risk assessment and performance prediction in team sports: A systematic review. *Sports Medicine - Open*, 5, 28.
- Düking, P., Hotho, A., Holmberg, H.-C., Fuss, F. K., & Sperlich, B. (2016). Comparison of non-invasive individual monitoring of the training and health of athletes with commercially available wearable technologies. *Frontiers in Physiology*, 7, 71.
- Düking, P., Fuss, F. K., Holmberg, H.-C., & Sperlich, B. (2018). Recommendations for assessment of the reliability, sensitivity, and validity of data provided by wearable sensors designed for monitoring physical activity. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(4), e102.
- Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M. A., Simango, B., Buote, R., Van Heerden, D., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., & Taylor, N. G. A. (2020). Reliability and validity of commercially available wearable devices for measuring steps, energy expenditure, and heart rate: Systematic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(9), e18694.
- 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.
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(Suppl 2), S139-S147.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270-273.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., Erlacher, D., Halsen, S. L., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K. W., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., & Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(2), 240-245.
- Malone, J. J., Lovell, R., Varley, M. C., & Coutts, A. J. (2017). Unpacking the black box: Applications and considerations for using GPS devices in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2-18-S2-26.
- McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Coutts, A. J., Hurst, C., Spears, I. R., & Weston, M. (2018). The relationships between internal and external measures of training load and intensity in team sports: A meta-analysis. *Sports Medicine*, 48, 641-658.
- Mujika, I., Halsen, S., Burke, L. M., Balagué, G., & Farrow, D. (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 538-561.
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The science of badminton: Game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Medicine*, 45, 473-495.
- Rabbani, A., Kargarfard, M., Twist, C., & Clemente, F. M. (2019). Association between selected training-wellness measures and performance in youth athletes. *Frontiers in Physiology*, 10, 991.
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 281-291.

- Sperlich, B., & Holmberg, H.-C. (2017). Wearable, yes, but able...? It is time for evidence-based marketing claims! *British Journal of Sports Medicine*, 51(16), 1240.
- Thorpe, R. T., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2017). Monitoring fatigue status in elite team-sport athletes: Implications for practice. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2-27-S2-34.
- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., & Drust, B. (2017). Training load monitoring in team sports: A novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports Medicine*, 47, 2135-2142.
- West, S. W., Clubb, J., Torres-Ronda, L., Howells, D., Leng, E., Vescovi, J. D., Carmody, S., Posthumus, M., Dalen-Lorentsen, T., & Windt, J. (2021). More than a metric: How training load is used in elite sport for athlete management. *International Journal of Sports Medicine*, 42(4), 300-306.
- Windt, J., & Gabbett, T. J. (2017). How do training and competition workloads relate to injury? The workload-injury aetiology model. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 428-435.
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46, 1461-1486.
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 73.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115.
- Halsen, S. L. (2019). Sleep monitoring in athletes: Motivation, methods, miscalculations and why it matters. *Sports Medicine*, 49, 1487-1497.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43, 773-781.
- Rogers, B., Giles, D., Draper, N., Mourot, L., & Gronwald, T. (2021). Detection of fatigue and recovery in endurance athletes using heart rate variability: A systematic review. *Sports Medicine - Open*, 7, 48.
- 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, 71.