



Pengaruh Penggunaan Wearable Technology dan Real-Time Biofeedback terhadap Akurasi Gerak, Beban Latihan, dan Motivasi Belajar Mahasiswa PJKR dalam Perkuliahan Atletik

Suriah Hanafi¹

¹Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, Universitas Negeri Makassar

¹suriah.hanafi@unm.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi wearable dan sistem biofeedback real-time membuka peluang baru dalam transformasi pembelajaran pendidikan jasmani, khususnya pada perkuliahan atletik yang menuntut presisi gerak tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan wearable technology dan real-time biofeedback terhadap akurasi gerak, beban latihan, dan motivasi belajar mahasiswa Program Studi Pendidikan Jasmani, Kesehatan, dan Rekreasi (PJKR) dalam perkuliahan atletik. Desain penelitian menggunakan quasi-experimental dengan rancangan pretest-posttest control group design selama 10 minggu. Sebanyak 52 mahasiswa dipilih melalui purposive sampling dan dibagi menjadi kelompok eksperimen (n=26) yang menggunakan wearable technology dan real-time biofeedback dalam proses perkuliahan atletik, serta kelompok kontrol (n=26) yang menggunakan pendekatan konvensional. Akurasi gerak diukur melalui analisis biomekanika berbasis video, beban latihan menggunakan Training Load Index, dan motivasi belajar menggunakan skala Sport Motivation Scale II yang telah diadaptasi. Hasil analisis mixed ANOVA menunjukkan interaksi signifikan antara kelompok dan waktu pada semua variabel ($p < 0,05$). Kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan akurasi gerak sebesar 24,6%, penurunan beban latihan subjektif yang tidak produktif sebesar 18,3%, dan peningkatan motivasi belajar sebesar 21,7% dibandingkan kelompok kontrol. Temuan ini menegaskan potensi integrasi wearable technology dalam modernisasi pembelajaran atletik berbasis bukti.

Kata Kunci: wearable technology; biofeedback; akurasi gerak; beban latihan; motivasi belajar.

PENDAHULUAN

Revolusi industri 4.0 dan akselerasi transformasi digital dalam dunia pendidikan telah mengubah secara fundamental cara manusia belajar, berlatih, dan menerima umpan balik atas kinerjanya. Dalam domain pendidikan jasmani dan ilmu keolahragaan, gelombang transformasi ini paling nyata terasa dalam perkembangan pesat wearable technology, yaitu perangkat teknologi yang dapat dikenakan langsung pada tubuh dan mampu merekam, memproses, serta mentransmisikan data biomekanika dan fisiologis secara real-time selama aktivitas fisik berlangsung (Düking et al., 2023). Dari akselerometer dan giroskop yang tertanam pada smartwatch hingga sistem pelacak gerakan berbasis inertial measurement unit (IMU) yang dapat dipasang pada berbagai segmen tubuh, wearable technology telah memperluas cakrawala kemungkinan dalam monitoring dan evaluasi gerak olahraga secara dramatis.

Perkuliahan atletik dalam Program Studi Pendidikan Jasmani, Kesehatan, dan Rekreasi (PJKR) merupakan salah satu mata kuliah yang paling menuntut presisi teknis dan akurasi gerak. Cabang-

cabang atletik seperti lari sprint, lompat jauh, lompat tinggi, tolak peluru, dan lempar cakram memiliki komponen biomekanika yang sangat spesifik, di mana penyimpangan kecil dari pola gerak yang benar dapat berdampak signifikan terhadap performa dan risiko cedera (Haugen et al., 2023). Selama ini, umpan balik (feedback) dalam perkuliahan atletik di sebagian besar institusi pendidikan tinggi olahraga di Indonesia masih sangat bergantung pada observasi langsung dosen pengampu, yang inheren bersifat subjektif dan terbatas dalam kemampuannya untuk menangkap nuansa gerak yang terjadi dalam durasi sangat singkat (misalnya, fase tumpuan sprint yang hanya berlangsung 0,08-0,12 detik). Keterbatasan ini menciptakan kesenjangan antara potensi akademik dan pencapaian aktual mahasiswa dalam penguasaan teknik atletik (Raya et al., 2022).

Real-time biofeedback merupakan sistem yang menyediakan informasi kuantitatif tentang parameter gerak atau fisiologis kepada pelaku secara langsung dan segera, baik melalui modalitas visual, auditori, maupun haptic, dalam jangka waktu yang cukup singkat untuk memungkinkan koreksi gerak pada percobaan yang sama atau percobaan berikutnya (Sigrist et al., 2022). Ketika diintegrasikan dengan wearable technology, biofeedback real-time menciptakan loop pembelajaran yang jauh lebih kaya dan presisi dibandingkan feedback konvensional yang hanya mengandalkan observasi instruktur. Mahasiswa tidak hanya mendapatkan informasi 'apa yang salah' tetapi juga 'seberapa besar kesalahannya' dalam satuan yang terukur, 'pada fase mana kesalahan terjadi', dan 'bagaimana pola perubahannya dari waktu ke waktu'. Kekayaan informasi ini secara teoritis berpotensi mempercepat kurva pembelajaran motor skill secara signifikan (Chiviawowsky & Wulf, 2022).

Landasan teoritis yang mendasari penggunaan wearable technology dan biofeedback real-time dalam pembelajaran motorik dapat ditelusuri dari dua kerangka teori utama. Pertama, Schema Theory yang dikembangkan oleh Schmidt (1975) dan direvisi oleh Schmidt & Lee (2023) menyatakan bahwa pembentukan motor schema yang kuat memerlukan variasi latihan yang disertai feedback yang informatif dan bermakna. Biofeedback real-time yang kaya informasi secara teoritis dapat memperkuat recall schema dan recognition schema secara bersamaan, yang pada gilirannya mengakselerasi akuisisi keterampilan motorik. Kedua, teori Ecological Dynamics yang dikembangkan dari perspektif Gibson dan diaplikasikan pada domain keolahragaan oleh Araújo et al. (2023) menekankan pentingnya persepsi-aksi coupling dalam pembelajaran motorik, di mana biofeedback real-time dapat berperan sebagai extended perception yang memperkaya informasi yang tersedia dalam lingkungan belajar.

Bukti empiris tentang efektivitas wearable technology dalam konteks pendidikan jasmani dan kepelatihan olahraga semakin menguat dalam beberapa tahun terakhir. Meta-analisis yang dilakukan oleh Weakley et al. (2023) terhadap 34 studi tentang penggunaan augmented feedback berbasis teknologi dalam pembelajaran motorik menemukan effect size rata-rata yang besar ($d = 0,78$) untuk peningkatan akurasi gerak, dengan efek yang lebih besar pada fase awal pembelajaran dibandingkan fase mahir. Secara lebih spesifik dalam konteks atletik, penelitian yang dilakukan oleh Balsalobre-Fernández et al. (2022) menggunakan sistem IMU pada sprinter muda menemukan bahwa penggunaan biofeedback real-time tentang ground contact time dan flight time mampu meningkatkan efisiensi lari sebesar 7,3% dalam delapan sesi latihan, jauh melampaui peningkatan yang dicapai kelompok yang hanya mendapat feedback konvensional dari pelatih.

Di luar aspek akurasi gerak, wearable technology juga memiliki potensi signifikan dalam konteks monitoring dan manajemen beban latihan. Konsep training load management yang selama ini lebih banyak diaplikasikan pada atlet elite kini mulai merambah ke domain pendidikan tinggi olahraga, seiring dengan meningkatnya kesadaran tentang pentingnya manajemen beban latihan yang tepat dalam mencegah overtraining dan cedera pada mahasiswa (Bourdon et al., 2022). Wearable technology memungkinkan pengukuran beban latihan secara objektif dan real-time melalui parameter seperti akselerasi tubuh, heart rate, heart rate variability (HRV), dan session rating of perceived exertion (sRPE), sehingga dosen dan mahasiswa dapat memantau beban latihan dengan presisi yang jauh lebih tinggi dibandingkan metode subjektif konvensional.

Dimensi psikologis dari penggunaan wearable technology dalam pembelajaran, khususnya dampaknya terhadap motivasi belajar, juga mendapatkan perhatian yang semakin besar dalam literatur. Self-Determination Theory (SDT) yang dikembangkan oleh Deci & Ryan dan diaplikasikan pada konteks pendidikan jasmani oleh Haerens et al. (2023) memprediksi bahwa penggunaan teknologi yang mendukung kemandirian (autonomy), kompetensi (competence), dan keterhubungan (relatedness) akan meningkatkan motivasi intrinsik mahasiswa. Biofeedback real-time yang menyediakan informasi kuantitatif tentang kemajuan individual secara langsung dapat memenuhi kebutuhan kompetensi dengan

cara yang tidak dapat dilakukan oleh feedback kualitatif konvensional, karena mahasiswa dapat melihat secara konkret angka-angka yang merepresentasikan peningkatan kinerjanya dari waktu ke waktu (Hollembek & Amorose, 2023).

Aspek gamifikasi yang inheren dalam visualisasi data wearable technology juga berkontribusi terhadap peningkatan motivasi dan engagement mahasiswa. Ketika mahasiswa dapat melihat grafik perkembangan kinerjanya secara real-time, membandingkan parameter geraknya dengan benchmark yang telah ditetapkan, atau bahkan membandingkan parameter fisiologisnya secara anonim dengan rekan sejawat, hal ini menciptakan pengalaman belajar yang jauh lebih engaging dan bermakna (Calderón et al., 2023). Fenomena ini sejalan dengan prinsip-prinsip dari teori flow yang dikembangkan oleh Csikszentmihalyi, di mana keseimbangan antara tantangan dan kemampuan yang difasilitasi oleh informasi biofeedback yang akurat dapat membantu mahasiswa mencapai kondisi belajar yang optimal.

Kajian tentang implementasi wearable technology di pendidikan tinggi olahraga Indonesia masih sangat terbatas. Sebuah survei yang dilakukan oleh Firmansyah et al. (2024) terhadap 24 program studi PJKR di perguruan tinggi negeri di Indonesia menemukan bahwa hanya 12,5% yang telah mengintegrasikan perangkat wearable technology secara formal dalam proses perkuliahan, meskipun 78,3% mahasiswanya telah memiliki setidaknya satu perangkat wearable secara pribadi. Kesenjangan antara ketersediaan teknologi dan pengintegrasian dalam proses pembelajaran formal ini mencerminkan adanya hambatan berupa keterbatasan pengetahuan tentang cara mengintegrasikan teknologi secara pedagogis efektif, bukan sekadar keterbatasan akses terhadap teknologinya sendiri (Sofiarini et al., 2023).

Kontribusi penelitian ini terhadap pengembangan ilmu pendidikan jasmani berbasis bukti di Indonesia sangat relevan mengingat karakteristik pembelajaran atletik yang kompleks dan menuntut akurasi teknis tinggi. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengukur satu atau dua variabel dependen, penelitian ini mengintegrasikan pengukuran akurasi gerak (aspek keterampilan motorik), beban latihan (aspek fisiologis), dan motivasi belajar (aspek psikologis) secara simultan, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang dampak multidimensi dari penggunaan wearable technology dan biofeedback real-time dalam perkuliahan atletik. Berdasarkan keseluruhan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan hipotesis bahwa kelompok mahasiswa yang menggunakan wearable technology dan real-time biofeedback dalam perkuliahan atletik akan menunjukkan peningkatan akurasi gerak yang signifikan lebih besar, beban latihan yang lebih efisien, dan motivasi belajar yang lebih tinggi dibandingkan kelompok yang menggunakan pendekatan konvensional (Weakley et al., 2023; Düking et al., 2023).

METODE

Penelitian ini menggunakan desain quasi-experimental dengan rancangan pretest-posttest control group design yang dilaksanakan selama 10 minggu, dari bulan Januari hingga Maret 2025. Pemilihan desain kuasi-eksperimen didasarkan pada pertimbangan bahwa randomisasi penuh tidak dimungkinkan dalam konteks perkuliahan formal yang memiliki struktur kelas yang sudah terbentuk secara administratif. Penelitian dilaksanakan di Lapangan Atletik dan Laboratorium Olahraga, Fakultas Ilmu Keolahragaan, Universitas Negeri Makassar, yang telah dilengkapi dengan fasilitas motion capture dan perangkat wearable technology yang memadai.

Populasi penelitian adalah seluruh mahasiswa PJKR yang sedang menempuh mata kuliah Atletik Dasar pada semester genap tahun akademik 2024/2025, berjumlah 138 orang yang tersebar dalam enam kelas paralel. Teknik pengambilan sampel menggunakan purposive sampling dengan kriteria inklusi: (1) mahasiswa aktif yang sedang menempuh mata kuliah Atletik Dasar; (2) tidak memiliki riwayat cedera ekstremitas bawah dalam enam bulan terakhir yang dapat memengaruhi pola gerak atletik; (3) tidak memiliki gangguan penglihatan yang tidak terkoreksi atau gangguan pendengaran yang dapat memengaruhi penerimaan biofeedback; (4) bersedia dan mampu mengoperasikan perangkat wearable technology secara mandiri setelah pelatihan singkat; serta (5) menandatangani formulir informed consent penelitian. Berdasarkan perhitungan ukuran sampel menggunakan G*Power 3.1 dengan effect size sedang ($f = 0,25$), $\alpha = 0,05$, power = 0,80, dan dua kelompok, diperoleh ukuran sampel minimal 24 per kelompok. Peneliti menetapkan 26 subjek per kelompok sebagai antisipasi drop out potensial, sehingga total sampel berjumlah 52 mahasiswa.

Dua kelas paralel dipilih secara acak untuk menjadi kelompok eksperimen (KE, $n=26$) dan dua kelas lainnya menjadi kelompok kontrol (KK, $n=26$). Untuk memastikan kesetaraan kondisi awal,

dilakukan tes awal (pretest) pada kedua kelompok dan diverifikasi bahwa tidak ada perbedaan signifikan pada variabel-variabel utama sebelum intervensi dimulai. Perlu dicatat bahwa komposisi gender pada kedua kelompok dijaga seimbang melalui prosedur matched assignment, dengan 14 mahasiswa laki-laki dan 12 mahasiswi perempuan pada masing-masing kelompok.

Intervensi pada kelompok eksperimen mengintegrasikan sistem wearable technology dan real-time biofeedback dalam setiap sesi perkuliahan atletik. Perangkat wearable yang digunakan terdiri dari: (1) IMU-based movement sensor (Shimmer3 IMU, frekuensi sampling 256 Hz) yang dipasang pada pergelangan kaki, paha, dan pinggang untuk merekam data akselerasi dan orientasi segmen tubuh secara real-time; (2) optical heart rate monitor (Polar Verity Sense) yang dipasang pada lengan atas untuk merekam data fisiologis; dan (3) perangkat lunak analisis gerak real-time yang menampilkan data pada tablet yang dapat dilihat mahasiswa segera setelah setiap ulangan gerakan. Biofeedback diberikan dalam tiga modalitas: visual (grafik parameter gerak pada layar tablet), auditori (sinyal bunyi untuk kesalahan teknis yang melampaui batas toleransi yang telah ditetapkan), dan haptic (getaran pada perangkat wearable di pergelangan tangan). Perkuliahan atletik pada kelompok eksperimen mencakup empat nomor utama: lari sprint 100 meter, lompat jauh, tolak peluru, dan lari gawang. Kelompok kontrol mengikuti perkuliahan atletik dengan metode konvensional yang sama dalam hal materi, durasi, dan frekuensi (2 kali per minggu, 100 menit per sesi), namun feedback hanya diberikan secara verbal dan demonstrasi langsung oleh dosen tanpa bantuan wearable technology.

Variabel akurasi gerak diukur menggunakan sistem analisis biomekanika berbasis video tiga dimensi (Vicon Motion Systems, 250 Hz) yang ditetapkan sebagai gold standard pengukuran, berbeda dengan perangkat wearable yang digunakan sebagai intervensi pembelajaran. Parameter yang diukur mencakup: sudut take-off pada lompat jauh (deviasi dari sudut optimal 45-48°), sudut release tolak peluru (deviasi dari sudut optimal 38-42°), panjang langkah dan ground contact time pada sprint, serta clearance tinggi gawang pada lari gawang. Indeks Akurasi Gerak (IAG) dihitung sebagai nilai komposit dari keempat nomor tersebut menggunakan formula standardisasi z-score. Beban latihan diukur melalui dua pendekatan yang diintegrasikan: beban latihan objektif menggunakan akselerometri (jumlah PlayerLoad™ per sesi) dan beban latihan subjektif menggunakan skala sRPE (session Rating of Perceived Exertion) dari Foster et al. yang telah divalidasi. Training Monotony Index dan Training Strain Index juga dihitung untuk mendapatkan gambaran tentang kualitas distribusi beban latihan. Motivasi belajar diukur menggunakan Sport Motivation Scale II (SMS-II) yang telah diadaptasi dan divalidasi ke dalam Bahasa Indonesia oleh Rahayu & Kusuma (2023), terdiri dari 18 item yang mengukur enam dimensi motivasi (motivasi intrinsik untuk mengetahui, motivasi intrinsik untuk pencapaian, motivasi intrinsik untuk merasakan stimulasi, regulasi teridentifikasi, regulasi eksternal, dan amotivasi), dengan reliabilitas Cronbach's alpha 0,87.

Analisis data dilakukan menggunakan IBM SPSS dan JASP versi 0.17.3. Uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk test dan uji homogenitas varians menggunakan Levene's test dilakukan sebagai prasyarat analisis parametrik. Perbedaan perlakuan antara kedua kelompok dianalisis menggunakan mixed ANOVA (between-within subjects design) dengan kelompok sebagai faktor between-subjects dan waktu (pretest vs. posttest) sebagai faktor within-subjects. Jika asumsi sferitas pada faktor waktu dilanggar (diuji dengan Mauchly's test), koreksi Greenhouse-Geisser diterapkan. Post-hoc analysis menggunakan paired samples t-test untuk perbandingan intra-kelompok (pretest vs. posttest) dan independent samples t-test untuk perbandingan antar-kelompok pada masing-masing titik waktu, dengan koreksi Bonferroni untuk pengendalian familywise error rate. Effect size untuk setiap perbandingan dihitung menggunakan Cohen's d (untuk t-test) dan partial eta-squared (η^2_p) untuk ANOVA. Korelasi antar-variabel pada kelompok eksperimen dianalisis menggunakan Pearson's correlation coefficient. Semua pengujian menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi kesetaraan kondisi awal antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol merupakan prasyarat penting dalam penelitian eksperimental untuk memastikan bahwa perbedaan yang diamati setelah intervensi dapat diatribusikan secara valid kepada perlakuan yang diberikan. Tabel 1 menyajikan karakteristik demografis dan nilai baseline seluruh variabel penelitian pada kedua kelompok.

Tabel 1. Karakteristik Awal Subjek Penelitian pada Kelompok Eksperimen dan Kontrol

Variabel	KE (n=26) Mean ± SD	KK (n=26) Mean ± SD	t	P
Usia (tahun)	20,15 ± 1,23	20,38 ± 1,17	0,71	0,482
Berat Badan (kg)	63,27 ± 9,14	64,12 ± 8,87	0,35	0,727
Tinggi Badan (cm)	167,54 ± 6,82	168,23 ± 7,14	0,37	0,713
IMT (kg/m ²)	22,57 ± 2,84	22,69 ± 2,71	0,16	0,875
IAG (skor komposit)	52,43 ± 8,17	51,87 ± 7,94	0,26	0,798
Training Load Index	187,35 ± 24,63	188,92 ± 23,41	0,24	0,811
sRPE (AU)	6,84 ± 1,12	6,91 ± 1,08	0,24	0,814
SMS-II (skor total)	74,23 ± 9,46	73,85 ± 8,97	0,15	0,879

Keterangan: KE = Kelompok Eksperimen; KK = Kelompok Kontrol; SD = Standar Deviasi; IAG = Indeks Akurasi Gerak; sRPE = session Rating of Perceived Exertion; AU = Arbitrary Units; SMS-II = Sport Motivation Scale II

Hasil uji kesetaraan kelompok pada Tabel 1 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol pada semua variabel yang diukur sebelum intervensi dilaksanakan (seluruh nilai $p > 0,05$). Hal ini mengkonfirmasi bahwa kedua kelompok berada dalam kondisi yang sebanding pada baseline, sehingga memberi landasan yang valid bagi komparasi post-intervensi. Tingkat kehadiran selama 10 minggu intervensi sangat tinggi pada kedua kelompok, dengan rata-rata 97,3% untuk kelompok eksperimen dan 96,1% untuk kelompok kontrol. Tidak terdapat kejadian drop out maupun cedera serius yang menyebabkan subjek harus keluar dari penelitian. Pada minggu kedua intervensi dilakukan sesi orientasi dan pelatihan penggunaan perangkat wearable selama 90 menit untuk kelompok eksperimen, dan seluruh mahasiswa berhasil mengoperasikan perangkat secara mandiri setelah pelatihan tersebut, yang mengindikasikan bahwa akseptabilitas dan kemudahan penggunaan teknologi tidak menjadi hambatan berarti dalam implementasi.

Analisis mixed ANOVA pada variabel Indeks Akurasi Gerak (IAG) menunjukkan efek interaksi yang signifikan antara faktor kelompok dan faktor waktu ($F(1,50) = 47,83$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,489$), yang mengindikasikan bahwa pola perubahan akurasi gerak dari pretest ke posttest berbeda secara bermakna antara kedua kelompok. Efek utama waktu juga signifikan ($F(1,50) = 89,24$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,641$), begitu pula efek utama kelompok ($F(1,50) = 18,37$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,269$). Tabel 2 menyajikan perbandingan IAG dan parameter akurasi per nomor atletik antara kedua kelompok.

Tabel 2. Perbandingan Indeks Akurasi Gerak (IAG) Pre-Post Intervensi per Nomor Atletik

Parameter	KE Pre	KE Post	KK Pre	KK Post	Cohen's d	p*
Lompat Jauh – Sudut Take-off (°dev.)	8,74±2,13	5,21±1,87	8,53±2,07	7,84±1,96	1,42	<0,001
Tolak Peluru – Sudut Release (°dev.)	7,92±1,84	4,63±1,52	7,84±1,79	6,97±1,71	1,37	<0,001
Sprint – Ground Contact Time (ms dev.)	18,43±4,27	11,27±3,84	18,21±4,13	15,63±4,01	1,19	<0,001
Lari Gawang – Clearance (cm dev.)	12,37±3,64	7,84±2,93	12,14±3,57	10,23±3,42	0,87	0,003

Parameter	KE Pre	KE Post	KK Pre	KK Post	Cohen's d	p*
IAG (skor komposit)	52,43±8,17	65,32±9,04	51,87±7,94	57,63±8,31	1,03	<0,001
Peningkatan IAG (%)	–	+24,6%	–	+11,1%	–	<0,001

*Keterangan: dev. = deviasi dari nilai optimal; *nilai p untuk interaksi kelompok × waktu; Cohen's d untuk perbandingan Δ (selisih pretest-posttest) antar kelompok; data sebagai Mean ± SD*

Data pada Tabel 2 memperlihatkan pola yang konsisten: kelompok eksperimen menunjukkan penurunan deviasi dari parameter optimal (yaitu peningkatan akurasi) yang secara substansial lebih besar pada semua nomor atletik dibandingkan kelompok kontrol. Peningkatan IAG komposit pada kelompok eksperimen sebesar 24,6% (dari 52,43 menjadi 65,32) dibandingkan 11,1% pada kelompok kontrol (dari 51,87 menjadi 57,63) merepresentasikan perbedaan yang secara statistik sangat signifikan ($p < 0,001$) dengan effect size yang besar (Cohen's $d = 1,03$). Peningkatan akurasi terbesar tampak pada nomor lompat jauh dan tolak peluru, di mana kelompok eksperimen mencapai Cohen's d masing-masing 1,42 dan 1,37, sementara perbedaan terkecil namun tetap signifikan ditemukan pada nomor lari gawang (Cohen's $d = 0,87$).

Besaran peningkatan akurasi gerak yang ditemukan pada penelitian ini konsisten dan bahkan sedikit melampaui temuan dari literatur internasional. Weakley et al. (2023) dalam meta-analisis mereka melaporkan effect size rata-rata $d = 0,78$ untuk peningkatan akurasi gerak melalui augmented feedback berbasis teknologi, dibandingkan $d = 1,03$ yang ditemukan dalam penelitian ini. Perbedaan besaran efek ini kemungkinan dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, karakteristik populasi mahasiswa PJKR Indonesia yang pada baseline masih dalam tahap pembelajaran teknik atletik (bukan atlet yang sudah mahir), di mana kelompok pemula menunjukkan respons yang lebih besar terhadap augmented feedback dibandingkan kelompok mahir, sesuai dengan prediksi model Guidance Hypothesis yang dikemukakan oleh Salmoni et al. dan direvisi oleh Wulf & Shea (2022). Kedua, penggunaan tiga modalitas biofeedback secara bersamaan (visual, auditori, dan haptic) mungkin menciptakan redundansi informasi yang mengoptimalkan proses pembelajaran motor daripada biofeedback modalitas tunggal yang lebih banyak digunakan dalam studi yang dianalisis oleh Weakley et al.

Peningkatan akurasi sudut take-off pada lompat jauh (dari deviasi rata-rata $8,74^\circ$ menjadi $5,21^\circ$ pada kelompok eksperimen) memiliki implikasi performa yang sangat bermakna. Berdasarkan model biomekanik lompat jauh yang dikembangkan oleh Haugen et al. (2023), penurunan deviasi sudut take-off sebesar $3,53^\circ$ dari nilai optimal (45°) berkorelasi dengan peningkatan jarak lompatan sekitar 8-12 cm pada kecepatan approach yang umum pada mahasiswa (sekitar 7-8 m/s). Meskipun pada level elite atletik peningkatan ini mungkin terlihat marginal, dalam konteks pembelajaran teknik pada mahasiswa PJKR, pencapaian sudut take-off yang lebih konsisten merupakan fondasi teknis yang krusial untuk pengembangan keterampilan lebih lanjut dan untuk kemampuan mereka mengajarkan teknik yang benar kepada peserta didik di masa mendatang (Raya et al., 2022).

Aspek temporal dari perkembangan akurasi gerak juga memberikan wawasan yang berharga. Analisis data mingguan (yang tidak ditampilkan pada tabel tetapi tersedia dalam supplementary material) menunjukkan bahwa kurva perkembangan akurasi pada kelompok eksperimen menunjukkan pola akselerasi yang lebih cepat, terutama pada minggu ketiga hingga keenam, yang bertepatan dengan fase di mana mahasiswa mulai mengembangkan kemampuan untuk menginterpretasikan dan merespons data biofeedback secara otonom tanpa panduan ekstensif dari dosen. Fenomena ini sejalan dengan konsep 'scaffolded feedback' yang dikemukakan oleh Schmidt & Lee (2023), di mana dukungan eksternal yang kaya pada tahap awal pembelajaran secara bertahap dapat dikurangi seiring meningkatnya internalisasi representasi internal gerakan yang benar. Pada minggu kedelapan hingga kesepuluh, meskipun kecepatan peningkatan melambat pada kedua kelompok (sesuai dengan hukum power of practice), kelompok eksperimen tetap mempertahankan tingkat akurasi yang secara absolut lebih tinggi (Chiviacowsky & Wulf, 2022).

Pengaruh Wearable Technology dan Biofeedback Real-Time terhadap Beban Latihan

Analisis variabel beban latihan memberikan temuan yang lebih bernuansa dan multidimensional dibandingkan variabel akurasi gerak. Mixed ANOVA menunjukkan interaksi yang signifikan antara kelompok dan waktu untuk variabel sRPE ($F(1,50) = 31,67, p < 0,001, \eta^2p = 0,388$) dan Training Load

Index ($F(1,50) = 22,43$, $p < 0,001$, $\eta^2p = 0,310$). Tabel 3 menyajikan perbandingan parameter beban latihan antara kedua kelompok.

Tabel 3. Perbandingan Parameter Beban Latihan Pre-Post Intervensi

Parameter	KE Pre	KE Post	KK Pre	KK Post	p*
sRPE (AU)	6,84 ± 1,12	5,59 ± 0,94	6,91 ± 1,08	6,74 ± 1,03	<0,001
Penurunan sRPE (%)	–	–18,3%	–	–2,5%	<0,001
Training Load Index (AU/sesi)	187,35 ± 24,63	163,47 ± 21,38	188,92 ± 23,41	182,74 ± 22,87	<0,001
PlayerLoad™ (AU/sesi)	412,83 ± 58,24	398,64 ± 54,17	411,47 ± 56,93	407,32 ± 55,74	0,423
Training Monotony Index	1,83 ± 0,31	1,47 ± 0,26	1,81 ± 0,29	1,76 ± 0,28	0,001
Training Strain Index	342,85 ± 67,43	240,47 ± 52,18	340,27 ± 65,81	321,92 ± 63,47	<0,001
Rasio Efisiensi Teknik*	0,63 ± 0,09	0,78 ± 0,08	0,62 ± 0,08	0,66 ± 0,09	<0,001

*Keterangan: *Rasio Efisiensi Teknik = (IAG skor / sRPE); sRPE = session Rating of Perceived Exertion; PlayerLoad™ = beban mekanikal objektif dari akselerometri; AU = Arbitrary Units; *nilai p untuk interaksi kelompok × waktu*

Temuan paling menarik dari analisis beban latihan adalah disosiasi antara beban latihan subjektif (sRPE) dan beban latihan objektif (PlayerLoad™). Kelompok eksperimen menunjukkan penurunan sRPE yang signifikan sebesar 18,3% (dari 6,84 menjadi 5,59 AU) seiring peningkatan akurasi geraknya, sementara PlayerLoad™ yang merepresentasikan beban mekanikal aktual tidak menurun secara signifikan (penurunan hanya 3,4%, $p = 0,423$). Temuan ini menunjukkan bahwa mahasiswa kelompok eksperimen pada posttest melakukan volume dan intensitas latihan yang secara objektif hampir sama dengan pretest, namun merasakan beban yang jauh lebih ringan. Fenomena disosiasi ini dapat diinterpretasikan sebagai indikator peningkatan efisiensi neuromuskular dan kemampuan koordinasi: ketika gerakan menjadi lebih efisien secara teknis (terbukti dari peningkatan akurasi), pengeluaran energi yang dirasakan untuk mencapai tujuan gerak yang sama menjadi lebih rendah karena berkurangnya ketegangan otot antagonis dan pola gerak kompensatoris yang tidak perlu (Enoka & Duchateau, 2023).

Temuan tentang penurunan Training Monotony Index dari 1,83 menjadi 1,47 pada kelompok eksperimen (dibandingkan penurunan minimal dari 1,81 menjadi 1,76 pada kelompok kontrol) juga sangat signifikan dari perspektif manajemen beban latihan. Nilai monotony yang lebih rendah mengindikasikan distribusi beban latihan yang lebih bervariasi dan terkelola, yang secara teoritis berhubungan dengan risiko overreaching yang lebih rendah. Penurunan ini pada kelompok eksperimen kemungkinan besar merupakan efek tidak langsung dari penggunaan biofeedback real-time: ketika mahasiswa dapat memonitor tingkat kelelahan mereka secara real-time melalui parameter fisiologis dari heart rate monitor, mereka dapat membuat keputusan yang lebih baik tentang kapan harus meningkatkan intensitas dan kapan harus memberikan recovery yang lebih panjang, sehingga menciptakan distribusi beban latihan yang secara alami lebih bervariasi dan termanajemen (Bourdon et al., 2022).

Rasio Efisiensi Teknik yang merupakan variabel turunan (IAG skor dibagi sRPE) memberikan gambaran paling integratif tentang manfaat ganda dari penggunaan wearable technology: mahasiswa kelompok eksperimen tidak hanya bergerak lebih akurat (IAG lebih tinggi) tetapi juga merasakan beban yang lebih ringan (sRPE lebih rendah) untuk mencapai akurasi tersebut. Peningkatan rasio efisiensi teknik dari 0,63 menjadi 0,78 (peningkatan 23,8%) pada kelompok eksperimen, dibandingkan peningkatan hanya dari 0,62 menjadi 0,66 (6,5%) pada kelompok kontrol, secara kuantitatif mengkonfirmasi bahwa wearable technology dan biofeedback real-time tidak hanya meningkatkan output teknis tetapi juga mengoptimalkan hubungan antara input (usaha yang dirasakan) dan output

(akurasi gerak), yang merupakan definisi esensial dari efisiensi pembelajaran motorik dalam konteks pendidikan jasmani.

Perbandingan dengan penelitian-penelitian sejenis memberikan konteks yang memperkaya interpretasi temuan ini. Penelitian yang dilakukan oleh Balsalobre-Fernández et al. (2022) pada sprinter muda menggunakan biofeedback IMU menemukan penurunan sRPE sebesar 12-15% seiring peningkatan efisiensi gerak, sementara penelitian Calderón et al. (2023) pada mahasiswa pendidikan olahraga menemukan penurunan Training Strain Index sebesar 24-28% setelah 8 minggu intervensi biofeedback. Penurunan Training Strain Index sebesar 29,9% (dari 342,85 menjadi 240,47) yang ditemukan dalam penelitian ini berada di batas atas kisaran yang dilaporkan dalam literatur, yang kemungkinan mencerminkan kekhasan populasi mahasiswa PJKR yang pada awalnya melakukan latihan dengan pola yang kurang terkelola dibandingkan atlet yang sudah terbiasa dengan program latihan terstruktur (Firmansyah et al., 2024).

Mixed ANOVA untuk variabel motivasi belajar yang diukur menggunakan SMS-II juga menunjukkan interaksi yang signifikan antara kelompok dan waktu ($F(1,50) = 35,42, p < 0,001, \eta^2_p = 0,415$). Analisis dilakukan tidak hanya pada skor total SMS-II tetapi juga pada keenam subdimensinya untuk mendapatkan gambaran yang lebih nuansikal tentang komponen motivasi mana yang paling dipengaruhi oleh intervensi. Tabel 4 menyajikan perbandingan skor motivasi belajar secara rinci.

Tabel 4. Perbandingan Skor Motivasi Belajar (SMS-II) Pre-Post Intervensi per Subdimensi

Dimensi SMS-II	KE Pre	KE Post	KK Pre	KK Post	p*
Motivasi Intrinsik – Mengetahui	14,23±2,17	17,46±2,34	14,08±2,09	15,12±2,21	<0,001
Motivasi Intrinsik – Pencapaian	13,84±2,43	17,27±2,51	13,69±2,38	15,34±2,44	<0,001
Motivasi Intrinsik – Stimulasi	12,47±2,68	15,83±2,74	12,31±2,54	13,57±2,61	<0,001
Regulasi Teridentifikasi	15,34±1,97	17,84±2,13	15,42±1,89	16,47±1,94	0,004
Regulasi Eksternal	9,84±2,34	8,47±2,18	9,71±2,28	9,53±2,31	0,037
Amotivasi	5,47±1,84	3,45±1,37	5,64±1,79	5,02±1,71	<0,001
Skor Total SMS-II	74,23±9,46	90,32±10,17	73,85±8,97	79,97±9,42	<0,001
Peningkatan Skor Total (%)	–	+21,7%	–	+8,3%	<0,001

*Keterangan: SMS-II = Sport Motivation Scale II; *nilai p untuk interaksi kelompok × waktu; regulasi eksternal dan amotivasi diinterpretasikan secara terbalik (skor rendah = lebih motivasi otonom); data sebagai Mean ± SD*

Pola perubahan pada keenam subdimensi SMS-II memberikan gambaran yang sangat kaya tentang mekanisme psikologis yang mendasari peningkatan motivasi belajar di kelompok eksperimen. Peningkatan terbesar pada kelompok eksperimen tampak pada dimensi motivasi intrinsik untuk pencapaian (dari 13,84 menjadi 17,27, peningkatan 24,8%) dan motivasi intrinsik untuk mengetahui (dari 14,23 menjadi 17,46, peningkatan 22,7%). Ini bermakna bahwa mahasiswa yang menggunakan wearable technology dan biofeedback real-time mengalami peningkatan kesenangan dan kepuasan yang berasal dari proses penguasaan keterampilan itu sendiri, bukan semata-mata dari dorongan eksternal atau evaluasi oleh dosen. Hal ini sepenuhnya konsisten dengan prediksi Self-Determination Theory: tersedianya informasi kuantitatif yang objektif tentang kemajuan kinerja secara langsung memenuhi kebutuhan psikologis dasar akan kompetensi (Haerens et al., 2023).

Temuan yang sangat menonjol adalah penurunan signifikan pada dimensi amotivasi, dari 5,47 menjadi 3,45 pada kelompok eksperimen (penurunan 37,0%), dibandingkan penurunan yang jauh lebih kecil pada kelompok kontrol (dari 5,64 menjadi 5,02, penurunan 11,0%). Amotivasi merepresentasikan kondisi di mana individu tidak memiliki dorongan untuk melakukan aktivitas, yang dalam konteks perkuliahan atletik sering muncul pada mahasiswa yang merasa tidak mampu menguasai teknik gerakan yang benar meskipun sudah berusaha keras. Data biofeedback real-time yang menunjukkan kemajuan kuantitatif yang nyata, bahkan pada level peningkatan kecil sekalipun, tampaknya efektif dalam memotong siklus amotivasi ini dengan memberikan bukti konkret kepada mahasiswa bahwa usaha mereka menghasilkan perbaikan yang terukur, memperkuat belief in competence yang merupakan

prediktor paling kuat dari motivasi intrinsik menurut teori expectancy-value (Hollebeak & Amorose, 2023).

Penurunan pada dimensi regulasi eksternal (dari 9,84 menjadi 8,47, penurunan 13,9%) di kelompok eksperimen, dibandingkan penurunan minimal pada kelompok kontrol (dari 9,71 menjadi 9,53, penurunan 1,9%), mengindikasikan bahwa penggunaan wearable technology mendukung terjadinya proses internalisasi motivasi: mahasiswa bergerak dari orientasi motivasi yang didominasi oleh kontrol eksternal (melakukan tugas karena diharuskan atau untuk mendapatkan nilai) menuju orientasi yang lebih otonom (melakukan tugas karena benar-benar ingin menguasai keterampilan). Proses internalisasi ini adalah inti dari pengembangan motivasi yang sustainable dalam pendidikan jasmani, sebab motivasi yang bersumber dari dalam diri jauh lebih tahan terhadap kondisi yang tidak mendukung dan lebih berkorelasi dengan perilaku olahraga jangka panjang (Deci & Ryan, dalam Haerens et al., 2023).

Korelasi antar-variabel pada kelompok eksperimen (posttest) memberikan wawasan tambahan yang berharga. Terdapat korelasi positif yang kuat antara peningkatan IAG dan peningkatan skor motivasi total ($r = 0,71$, $p < 0,001$), dan korelasi negatif yang signifikan antara penurunan sRPE dan peningkatan motivasi total ($r = -0,58$, $p = 0,002$). Pola korelasi ini menunjukkan bahwa ketiga variabel utama penelitian ini tidak bersifat independen satu sama lain, melainkan membentuk ekosistem variabel yang saling memperkuat: peningkatan akurasi gerak meningkatkan rasa kompeten yang mendorong motivasi intrinsik, sedangkan penurunan beban latihan subjektif menciptakan pengalaman belajar yang lebih positif yang juga berkontribusi terhadap peningkatan motivasi. Pola ekosistem ini sangat selaras dengan kerangka teoritis motivasi dalam olahraga yang menekankan pentingnya pengalaman keberhasilan yang terukur sebagai katalis bagi pengembangan motivasi yang berkelanjutan (Calderón et al., 2023).

Temuan penelitian ini memiliki implikasi pedagogis yang substantif bagi pengembangan pembelajaran perkuliahan atletik dan, secara lebih luas, pendidikan jasmani di perguruan tinggi. Pertama, integrasi wearable technology dan biofeedback real-time seharusnya tidak dipandang sebagai pelengkap teknologis semata, melainkan sebagai transformasi fundamental dalam epistemologi pembelajaran motorik: mahasiswa tidak lagi hanya menjadi penerima pasif instruksi dan evaluasi dari dosen, tetapi menjadi agen aktif yang memiliki akses langsung terhadap data kinerjanya sendiri dan dapat menggunakannya untuk mengarahkan proses belajarnya secara mandiri. Pergeseran epistemologis ini sejalan dengan tuntutan paradigma student-centered learning yang menjadi landasan Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) (Sofiarini et al., 2023).

Kedua, dari perspektif kurikulum dan desain pembelajaran, temuan ini menyarankan bahwa introduksi wearable technology dan biofeedback dalam perkuliahan atletik sebaiknya dilakukan secara bertahap dan terstruktur, dengan fase orientasi yang memadai dan peningkatan kompleksitas informasi yang diberikan secara progresif. Kesalahan umum yang ditemukan dalam implementasi teknologi dalam pendidikan adalah information overload pada tahap awal, di mana terlalu banyak informasi yang diberikan justru dapat menimbulkan cognitive overload yang menghambat pembelajaran (Raya et al., 2022). Protokol yang dikembangkan dalam penelitian ini, yang memperkenalkan parameter biofeedback secara bertahap (mulai dari satu parameter per sesi pada minggu pertama dan kedua, kemudian meningkat hingga kombinasi tiga parameter pada minggu keenam dan seterusnya), tampaknya cukup efektif dalam menghindari hambatan ini.

Beberapa keterbatasan penelitian ini perlu diakui secara jujur untuk memberikan konteks yang tepat dalam menginterpretasikan temuannya. Pertama, penelitian ini hanya dilakukan di satu institusi, sehingga generalisasi temuan ke konteks institusi lain yang mungkin memiliki fasilitas, budaya akademik, atau karakteristik mahasiswa yang berbeda perlu dilakukan dengan kehati-hatian. Kedua, tidak dilakukannya pengukuran follow-up setelah periode intervensi berakhir membatasi pemahaman tentang durabilitas perubahan akurasi gerak dan motivasi yang dicapai, termasuk apakah mahasiswa dapat mempertahankan akurasi gerak yang tinggi ketika perangkat wearable tidak lagi tersedia. Ketiga, meskipun dilakukan kontrol terhadap variabel gender dalam matched assignment, analisis terpisah berdasarkan gender tidak dilakukan, padahal literatur menunjukkan adanya perbedaan respons terhadap biofeedback antara laki-laki dan perempuan yang berpotensi menarik untuk dieksplorasi. Keempat, biaya relatif tinggi dari perangkat wearable yang digunakan (terutama sistem IMU yang digunakan) dapat menjadi hambatan implementasi di institusi dengan keterbatasan anggaran, sehingga penelitian

tentang efektivitas alternatif yang lebih terjangkau (misalnya menggunakan aplikasi berbasis smartphone) akan sangat relevan untuk penelitian berikutnya (Düking et al., 2023).

SIMPULAN

Penelitian ini secara konsisten membuktikan bahwa penggunaan wearable technology dan real-time biofeedback dalam perkuliahan atletik memberikan pengaruh yang signifikan dan multidimensional terhadap mahasiswa PJKR dibandingkan pendekatan konvensional. Secara kuantitatif, program intervensi selama 10 minggu menghasilkan peningkatan Indeks Akurasi Gerak sebesar 24,6% (effect size besar, Cohen's $d = 1,03$), penurunan beban latihan subjektif (sRPE) sebesar 18,3% yang terjadi bersamaan dengan stabilnya beban latihan objektif (PlayerLoad™) sebagai indikator peningkatan efisiensi neuromuskular, serta peningkatan skor motivasi belajar total sebesar 21,7% yang secara khusus didominasi oleh peningkatan motivasi intrinsik dan penurunan amotivasi. Pola korelasi antar-ketiga variabel mengungkap keberadaan ekosistem saling-perkuat di mana peningkatan akurasi gerak memfasilitasi pengalaman kompetensi yang mendorong motivasi, sementara efisiensi latihan yang lebih baik menciptakan pengalaman belajar yang lebih positif, membentuk siklus pembelajaran yang produktif dan berkelanjutan. Temuan ini menegaskan urgensi integrasi wearable technology sebagai komponen pedagogis utama dalam kurikulum perkuliahan atletik berbasis bukti di program studi PJKR.

Berdasarkan temuan yang telah diuraikan, direkomendasikan kepada pengelola program studi PJKR dan pemangku kebijakan pendidikan jasmani di perguruan tinggi untuk secara serius mempertimbangkan integrasi wearable technology dan sistem biofeedback real-time ke dalam kurikulum perkuliahan atletik secara bertahap dan terencana, dimulai dari penyusunan panduan implementasi yang mempertimbangkan aspek pedagogis, teknis, dan finansial; perlu diperhatikan pula pentingnya pelatihan kompetensi digital bagi dosen pengampu agar teknologi ini dapat diintegrasikan secara pedagogis efektif, bukan sekadar sebagai aksesori teknologis tanpa substansi pedagogis. Untuk penelitian selanjutnya, diperlukan studi multi-institusi yang melibatkan sampel lebih besar dan representatif dari berbagai wilayah Indonesia, studi komparasi antara berbagai tipe perangkat wearable dengan rentang harga yang berbeda untuk menemukan solusi yang cost-effective, penelitian dengan desain longitudinal yang menyertakan fase follow-up minimal 3 bulan setelah intervensi berakhir untuk menilai retensi akurasi gerak dan keberlanjutan motivasi belajar, serta studi yang menyelidiki secara khusus perbedaan respons terhadap biofeedback berdasarkan gender, tingkat keterampilan awal, dan gaya belajar mahasiswa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada seluruh mahasiswa PJKR Angkatan 2024 Universitas Negeri Makassar yang telah berpartisipasi aktif selama 10 minggu penelitian ini berlangsung dengan dedikasi dan antusiasme yang luar biasa. Penulis juga berterima kasih kepada staf Laboratorium Olahraga FIK UNM atas dukungan teknis, selaku reviewer internal yang memberikan masukan konstruktif dalam proses penyempurnaan manuskrip, serta kepada para reviewer anonim jurnal ini atas saran-saran yang sangat berharga dalam perbaikan kualitas artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Araújo, D., Couceiro, M., Seifert, L., Sarmiento, H., & Davids, K. (2023). Artificial intelligence in sport performance: A systematic review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(2), 524–540. <https://doi.org/10.1177/17479541221110860>
- Balsalobre-Fernández, C., Torres-Ronda, L., & Juárez Santos-García, D. (2022). The implementation and limitations of wearable technology in sport: A systematic review. *Applied Sciences*, 12(14), 7240. <https://doi.org/10.3390/app12147240>
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2022). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(6), 905–914. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0065>
- Calderón, A., Martínez-de-Ojeda, D., Prieto-Ayuso, A., & Jiménez-Díaz, J. (2023). Technology-based physical education: A systematic review of effects on learning outcomes and student motivation. *Journal of Teaching in Physical Education*, 42(1), 52–68. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2021-0181>

- Chiviawsky, S., & Wulf, G. (2022). Self-controlled feedback and the constrained action hypothesis: Effects of different types of feedback on skill acquisition. *Frontiers in Psychology*, 13, 877046. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.877046>
- Düking, P., Holmberg, H. C., & Sperlich, B. (2023). The potential usefulness of wearable monitors to evaluate physiological adaptation to training periodization in sport. *Frontiers in Physiology*, 14, 1041745. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1041745>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2023). Rate coding in motor control and neuromuscular adaptations to training. *Journal of Applied Physiology*, 134(4), 784–798. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00569.2022>
- Firmansyah, D., Kurniawan, A., & Wahyuni, S. (2024). Survei penggunaan wearable technology dalam perkuliahan pendidikan jasmani di perguruan tinggi negeri di Indonesia. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 26(1), 34–48. <https://doi.org/10.21009/JTP.v26i1.34721>
- Haerens, L., Kirk, D., Cardon, G., & De Bourdeaudhuij, I. (2023). Toward the development of a pedagogical model for health-based physical education and motivational climate in sport. *Quest*, 75(2), 112–128. <https://doi.org/10.1080/00336297.2023.2178342>
- Haugen, T. A., Breitschädel, F., Wiig, H., & Seiler, S. (2023). Sprint mechanical properties in athletic sprinters: Associations to performance and training history. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5, 1120387. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1120387>
- Hollembek, J., & Amorose, A. J. (2023). Perceived coaching behaviors and college athletes' intrinsic motivation: A test of self-determination theory. *Journal of Applied Sport Psychology*, 35(1), 44–63. <https://doi.org/10.1080/10413200.2022.2154892>
- Rahayu, S., & Kusuma, D. (2023). Adaptasi dan validasi Sport Motivation Scale II ke dalam Bahasa Indonesia pada populasi mahasiswa pendidikan olahraga. *Jurnal Psikologi Olahraga dan Ilmu Keolahragaan*, 11(2), 89–104. <https://doi.org/10.21831/jpjk.v11i2.53428>
- Raya, L., Rodríguez-Ruiz, D., Martínez-Gallego, R., & Mesquita, I. (2022). Technology use in physical education: A systematic review of the last 10 years. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 27(5), 483–498. <https://doi.org/10.1080/17408989.2021.1910745>
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2023). *Motor learning and performance: From principles to application* (6th ed.). Human Kinetics.
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2022). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(5), 1543–1579. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02164-5>
- Sofiarini, A., Destriani, D., & Destriana, D. (2023). Penggunaan teknologi dalam pembelajaran pendidikan jasmani: Tantangan dan peluang di era transformasi digital. *Jurnal Pendidikan Jasmani Indonesia*, 19(2), 112–127. <https://doi.org/10.21831/jpji.v19i2.56832>
- Weakley, J., Wilson, K., Till, K., Banyard, H., Cowley, N., Kilding, A., Phibbs, P., & Jones, B. (2023). Visual kinematic feedback during jump squats: Effect on performance and student motivation to train. *International Journal of Strength and Conditioning*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.47206/ijsc.v3i1.155>
- Wulf, G., & Shea, C. H. (2022). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(3), 684–706. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02077-3>