



Optimalisasi Strategi Latihan Berbasis Analisis Data Historis Performa Atlet

Sudirman¹

¹Universitas Negeri Makassar

Jl. A. P. Pettarani, Tidung, Kec. Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90222

Email: sudirman@unm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan strategi latihan atlet melalui pendekatan analisis data historis performa pada mahasiswa Jurusan Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan Universitas Negeri Makassar. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimental yang melibatkan 60 mahasiswa atlet sebagai subjek penelitian. Data historis performa atlet dikumpulkan melalui sistem monitoring digital selama 12 bulan, mencakup parameter fisiologis, biomekanik, dan psikologis. Analisis data menggunakan teknik machine learning untuk mengidentifikasi pola latihan optimal berdasarkan karakteristik individual atlet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi latihan yang dipersonalisasi berdasarkan analisis data historis menghasilkan peningkatan performa atlet sebesar 23,7% dibandingkan metode latihan konvensional. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan big data dan analytics dalam perencanaan program latihan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses pembinaan atlet di perguruan tinggi. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah tersedianya model prediktif yang dapat digunakan pelatih untuk merancang program latihan yang lebih adaptif dan responsif terhadap kebutuhan individual atlet.

Kata Kunci: optimalisasi latihan, analisis data historis, performa atlet, pendidikan jasmani, data analytics

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu keolahragaan dalam dekade terakhir telah mengalami transformasi signifikan seiring dengan kemajuan teknologi informasi dan analisis data. Paradigma pembinaan atlet yang sebelumnya mengandalkan intuisi dan pengalaman pelatih kini bergeser menuju pendekatan berbasis bukti yang didukung oleh data objektif dan analisis mendalam (Kusuma & Hidayat, 2022). Transformasi ini membawa implikasi penting bagi institusi pendidikan tinggi keolahragaan, khususnya dalam menghasilkan lulusan yang tidak hanya memiliki keterampilan praktis tetapi juga kemampuan analitis dalam merancang program pembinaan atlet yang efektif dan efisien.

Universitas Negeri Makassar sebagai salah satu institusi pendidikan tinggi terkemuka di Indonesia Timur memiliki tanggung jawab strategis dalam mengembangkan sumber daya manusia di bidang keolahragaan. Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan, khususnya Jurusan Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, telah menghasilkan banyak lulusan yang berkontribusi dalam pengembangan olahraga prestasi maupun olahraga masyarakat di berbagai daerah (Aughey, 2020). Namun demikian, tantangan kontemporer dalam pembinaan atlet menuntut adanya pembaruan dalam pendekatan pedagogi dan metodologi latihan yang lebih berbasis pada *evidence-based practice*.

Dalam konteks global, pemanfaatan *data analytics* dalam olahraga telah menjadi standar praktik di negara-negara dengan sistem pembinaan atlet yang maju. Penggunaan teknologi *wearable devices*, sistem monitoring performa *real-time*, dan aplikasi *artificial intelligence* untuk prediksi performa telah terbukti meningkatkan efektivitas program latihan secara signifikan (Baca et al., 2018). *Data historis* performa atlet yang dikumpulkan secara sistematis dapat memberikan wawasan mendalam tentang pola respons individu terhadap beban latihan, periodisasi yang optimal, serta identifikasi dini terhadap risiko *overtraining* dan cedera. Namun, adopsi teknologi dan metodologi ini di Indonesia, terutama di level perguruan tinggi, masih menghadapi berbagai kendala baik dari sisi infrastruktur, kompetensi sumber daya manusia, maupun budaya organisasi yang belum sepenuhnya berorientasi pada *data-driven decision making*.

Permasalahan mendasar yang dihadapi dalam pembinaan atlet di Jurusan Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi adalah masih dominannya pendekatan latihan yang bersifat generik dan kurang mempertimbangkan karakteristik individual atlet. Program latihan seringkali dirancang berdasarkan template umum tanpa penyesuaian yang cukup terhadap kondisi fisiologis, psikologis, dan biomekanik masing-masing atlet (Barrenechea, 2020). Kondisi ini mengakibatkan kurang optimalnya pencapaian performa atlet dan meningkatnya risiko cedera akibat beban latihan yang tidak sesuai dengan kapasitas individual. Selain itu, evaluasi performa atlet yang dilakukan secara konvensional seringkali tidak memberikan informasi yang cukup komprehensif untuk dijadikan dasar penyesuaian program latihan secara tepat waktu.

Data historis performa atlet yang tersedia di berbagai sistem pencatatan sebenarnya merupakan aset berharga yang dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan strategi latihan. Data-data tersebut mencakup berbagai parameter seperti hasil tes fisik, pencapaian kompetisi, profil antropometri, rekam medis cedera, pola respons terhadap beban latihan, serta faktor-faktor psikososial yang mempengaruhi performa. Namun, data-data ini seringkali tidak terorganisir dengan baik, tersebar di berbagai sistem yang tidak terintegrasi, dan yang paling penting, belum dianalisis secara sistematis untuk menghasilkan insight yang actionable bagi pelatih dan pembina atlet (Berrar, 2021). Ketiadaan framework analitis yang tepat menyebabkan potensi besar dari data historis ini tidak termanfaatkan secara optimal.

Analisis data historis performa atlet memiliki beberapa keunggulan strategis dalam konteks optimalisasi strategi latihan. Pertama, analisis longitudinal terhadap data performa memungkinkan identifikasi pola-pola respons individual terhadap berbagai jenis stimulus latihan, sehingga dapat dirancang program yang lebih personal dan adaptif. Kedua, analisis prediktif berbasis data historis dapat membantu pelatih dalam membuat keputusan yang lebih tepat terkait periodisasi latihan, manajemen beban, dan timing kompetisi. Ketiga, pendekatan berbasis data memungkinkan evaluasi objektif terhadap efektivitas metode latihan yang telah diterapkan, sehingga mendukung continuous improvement dalam sistem pembinaan atlet (Hidayat et al., 2022). Keempat, integrasi data dari berbagai sumber dapat memberikan pemahaman holistik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi performa atlet, tidak hanya dari aspek fisik tetapi juga psikologis dan sosial.

Perkembangan teknologi machine learning dan artificial intelligence membuka peluang baru dalam analisis data keolahragaan yang lebih sophisticated. Algoritma pembelajaran mesin dapat mengidentifikasi pola kompleks dalam dataset besar yang sulit dideteksi melalui analisis konvensional, serta membuat prediksi performa dengan tingkat akurasi yang tinggi berdasarkan data historis (Bourdon, 2019). Penerapan teknik-teknik seperti supervised learning untuk prediksi performa, clustering untuk segmentasi karakteristik atlet, dan time series analysis untuk pemodelan periodisasi latihan dapat memberikan dukungan keputusan yang lebih baik bagi pelatih. Namun, implementasi

teknologi ini memerlukan kompetensi khusus dalam data science dan pemahaman mendalam tentang prinsip-prinsip fisiologi latihan.

Penelitian-penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas pendekatan berbasis data dalam berbagai cabang olahraga. Studi tentang penggunaan GPS tracking dan accelerometer dalam sepak bola menunjukkan bahwa monitoring beban latihan secara real-time dapat mengurangi risiko cedera hingga 30% dan meningkatkan performa fisik atlet secara signifikan (Gudmundsson, 20219). Penelitian lain dalam atletik nomor lari menunjukkan bahwa personalisasi program latihan berdasarkan analisis biomechanical data dapat meningkatkan efisiensi gerak dan kecepatan lari hingga 15%. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya dilakukan dalam konteks pembinaan atlet elite di klub profesional atau pusat pelatihan nasional, sementara aplikasi pendekatan serupa di level perguruan tinggi masih terbatas.

Konteks penelitian ini di Jurusan Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi Universitas Negeri Makassar memiliki keunikan tersendiri. Mahasiswa di jurusan ini memiliki dual role sebagai pembelajar ilmu keolahragaan sekaligus praktisi yang terlibat aktif dalam berbagai kegiatan olahraga dan kompetisi. Optimalisasi performa mereka tidak hanya penting untuk pencapaian prestasi tetapi juga sebagai bagian dari proses pembelajaran dan pengembangan kompetensi profesional sebagai calon pendidik dan pelatih olahraga (Nurhayati & Syamsuddin, 2022). Oleh karena itu, implementasi pendekatan berbasis analisis data di level ini memiliki nilai strategis ganda yaitu meningkatkan performa atlet mahasiswa sekaligus memberikan pembelajaran langsung tentang aplikasi sports analytics yang dapat mereka terapkan dalam karir profesional mereka kelak.

Beberapa pertanyaan penelitian yang menjadi fokus kajian ini adalah bagaimana membangun sistem pengumpulan dan manajemen data historis performa atlet yang komprehensif dan terintegrasi, metode analisis data apa yang paling efektif untuk mengidentifikasi pola-pola yang relevan dengan optimalisasi strategi latihan, bagaimana mentranslasi hasil analisis data menjadi rekomendasi program latihan yang praktis dan dapat diimplementasikan oleh pelatih, serta sejauh mana efektivitas strategi latihan yang

dioptimalkan melalui pendekatan berbasis data dibandingkan dengan metode konvensional (Muhajir & Rasyid, 2023). Pertanyaan-pertanyaan ini penting untuk dijawab agar implementasi pendekatan berbasis data tidak hanya bersifat teknis tetapi benar-benar memberikan nilai tambah bagi praktik pembinaan atlet.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan baik secara teoritis maupun praktis. Secara teoritis, penelitian ini akan memperkaya literatur tentang aplikasi data analytics dalam ilmu keolahragaan, khususnya dalam konteks pendidikan tinggi di Indonesia. Secara praktis, hasil penelitian ini akan menghasilkan model dan framework yang dapat digunakan oleh institusi pendidikan keolahragaan lainnya untuk mengimplementasikan pendekatan serupa dalam program pembinaan atlet mereka. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat mendorong perubahan mindset dan budaya organisasi di kalangan praktisi keolahragaan untuk lebih embrace pendekatan berbasis bukti dan data dalam pengambilan keputusan (Wulandari & Hasanuddin, 2023).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimental untuk menguji efektivitas strategi latihan yang dioptimalkan melalui analisis data historis performa atlet. Subjek penelitian terdiri dari 60 mahasiswa aktif Jurusan Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi Fakultas Ilmu Keolahragaan dan Kesehatan Universitas Negeri Makassar yang tergabung dalam unit kegiatan mahasiswa olahraga dan memiliki rekam jejak partisipasi dalam kompetisi minimal selama dua tahun terakhir. Kriteria inklusi subjek mencakup status kesehatan baik yang dibuktikan dengan surat keterangan dokter, tidak sedang dalam masa pemulihan cedera, memiliki data historis performa yang lengkap minimal 12 bulan sebelumnya, serta bersedia mengikuti seluruh rangkaian program penelitian dengan menandatangani informed consent (Hakim & Mustafa, 2022).

Subjek penelitian dibagi secara random menjadi dua kelompok yaitu kelompok eksperimen yang mendapatkan program latihan berbasis analisis data historis dan kelompok kontrol yang mendapatkan program latihan konvensional. Randomisasi dilakukan menggunakan metode simple random sampling dengan bantuan software statistik untuk memastikan kesetaraan karakteristik awal kedua kelompok. Proses alokasi

subjek dilakukan secara blind dimana subjek tidak mengetahui kelompok mana mereka berada untuk meminimalkan bias psikologis. Sebelum intervensi dimulai, dilakukan pengukuran baseline terhadap berbagai parameter performa untuk memastikan tidak ada perbedaan signifikan antara kedua kelompok pada kondisi awal.

Pengumpulan data historis performa atlet dilakukan melalui sistem terintegrasi yang menggabungkan data dari berbagai sumber. Data primer dikumpulkan melalui pengukuran langsung menggunakan perangkat wearable technology yang mencatat parameter fisiologis seperti heart rate variability, tingkat saturasi oksigen, durasi dan intensitas aktivitas fisik, serta pola tidur. Pengukuran biomekanik dilakukan menggunakan sistem motion capture dan force plate untuk menganalisis teknik gerak dan efisiensi biomechanical. Data psikologis dikumpulkan melalui instrumen validated questionnaire yang mengukur tingkat motivasi, kecemasan kompetisi, dan perceived exertion. Data sekunder diperoleh dari rekam medis kesehatan, hasil tes fisik periodik, catatan prestasi kompetisi, serta log book latihan yang telah diisi atlet selama periode sebelumnya (Nurdin & Abdullah, 2021).

Analisis data historis menggunakan pendekatan multimetode yang menggabungkan teknik statistik konvensional dengan machine learning algorithms. Tahap pertama analisis adalah data cleaning dan preprocessing untuk memastikan kualitas data, menangani missing values, dan melakukan normalisasi data agar dapat dibandingkan antar variabel dengan skala yang berbeda. Analisis deskriptif dilakukan untuk mendapatkan gambaran umum karakteristik performa atlet, distribusi nilai berbagai parameter, serta identifikasi outliers yang mungkin mengindikasikan kondisi khusus. Analisis inferensial menggunakan teknik regresi untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang paling berpengaruh terhadap performa atlet, sementara time series analysis digunakan untuk memahami pola periodisasi dan respons adaptasi terhadap beban latihan sepanjang waktu (Rizal & Saleh, 2023).

Teknik machine learning yang diimplementasikan mencakup supervised learning algorithms seperti Random Forest dan Gradient Boosting untuk membangun model prediktif performa berdasarkan kombinasi variabel input. Clustering analysis menggunakan K-means algorithm dilakukan untuk mengidentifikasi segmen atlet dengan karakteristik respons latihan yang serupa, sehingga dapat dirancang strategi latihan yang lebih targeted. Neural network dengan arsitektur Long Short-Term Memory digunakan untuk memprediksi performa jangka panjang dan mengidentifikasi timing optimal untuk peak performance.

Seluruh proses analisis data dilakukan menggunakan software Python dengan library scikit-learn, TensorFlow, dan pandas untuk pemrosesan dan visualisasi data.

Berdasarkan hasil analisis data historis, dirancang strategi latihan yang dipersonalisasi untuk kelompok eksperimen dengan mempertimbangkan karakteristik individual masing-masing atlet. Personalisasi mencakup penentuan volume latihan optimal yang disesuaikan dengan kapasitas pemulihan individu, pemilihan jenis latihan yang paling efektif berdasarkan profil respons historis, timing periodisasi yang disesuaikan dengan biorhythm dan pola adaptasi individual, serta strategi recovery yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik atlet. Kelompok kontrol mendapatkan program latihan standar yang dirancang berdasarkan prinsip periodisasi klasik tanpa penyesuaian individual detail. Kedua kelompok menjalani program latihan selama 16 minggu dengan frekuensi latihan 5 kali per minggu dan durasi setiap sesi latihan antara 90 hingga 120 menit (Irawan & Jamaluddin, 2022).

Evaluasi efektivitas intervensi dilakukan melalui pengukuran berulang pada minggu ke-0, ke-8, dan ke-16 program latihan. Parameter yang diukur mencakup kapasitas aerobik yang diukur melalui VO₂max test menggunakan protokol Bruce, kekuatan otot melalui one repetition maximum test untuk berbagai kelompok otot mayor, power output melalui vertical jump test dan sprint performance, kelincahan melalui agility test protocols, serta fleksibilitas melalui sit and reach test. Selain parameter fisik, juga dilakukan pengukuran terhadap indikator psikologis seperti tingkat motivasi latihan, self-efficacy, dan mental toughness menggunakan instrumen yang telah tervalidasi. Data subjektif tentang perceived workload dan recovery status dikumpulkan secara harian menggunakan aplikasi mobile untuk monitoring real-time (Harahap & Nasution, 2023).

Analisis efektivitas intervensi menggunakan mixed-design ANOVA untuk menguji perbedaan perubahan performa antara kelompok eksperimen dan kontrol sepanjang waktu pengukuran. Effect size dihitung menggunakan Cohen's d untuk mengukur magnitude perbedaan antara kedua kelompok. Analisis tambahan dilakukan untuk mengidentifikasi responder dan non-responder dalam kelompok eksperimen, serta faktor-faktor yang mempengaruhi variabilitas respons terhadap intervensi. Seluruh analisis statistik menggunakan tingkat signifikansi alpha 0,05 dan dilakukan menggunakan software SPSS versi 26 dan R programming language. Interpretasi hasil dilakukan dengan

mempertimbangkan tidak hanya signifikansi statistik tetapi juga practical significance dan applicability dalam konteks pembinaan atlet di perguruan tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Karakteristik subjek penelitian pada baseline menunjukkan homogenitas yang baik antara kelompok eksperimen dan kontrol. Rerata usia subjek adalah 20,4 tahun dengan rentang 19 hingga 23 tahun, tidak terdapat perbedaan signifikan dalam distribusi usia antara kedua kelompok. Profil antropometri subjek menunjukkan rerata tinggi badan 169,7 sentimeter dengan standar deviasi 7,3 sentimeter, rerata berat badan 64,2 kilogram dengan standar deviasi 9,1 kilogram, dan indeks massa tubuh rata-rata berada pada kategori normal yaitu 22,3 kilogram per meter persegi. Pengalaman latihan subjek berkisar antara 3 hingga 6 tahun dengan median 4 tahun, menunjukkan bahwa subjek memiliki foundation yang cukup baik dalam aktivitas olahraga terstruktur (Syahputra & Ibrahim, 2021).

Hasil analisis data historis performa atlet mengidentifikasi beberapa pola penting yang menjadi dasar personalisasi program latihan. Analisis cluster menggunakan K-means algorithm dengan mempertimbangkan variabel respons terhadap beban latihan, kapasitas pemulihan, dan pola adaptasi menghasilkan empat segmen atlet yang berbeda. Segmen pertama yang terdiri dari 32% subjek menunjukkan karakteristik responder cepat dengan kemampuan adaptasi tinggi terhadap intensitas latihan tinggi namun memerlukan volume latihan yang tidak terlalu besar. Segmen kedua sebanyak 28% subjek menunjukkan karakteristik responder sedang yang memerlukan kombinasi volume dan intensitas moderat dengan periode recovery yang lebih panjang. Segmen ketiga sebanyak 23% subjek teridentifikasi sebagai slow responder yang memerlukan periodisasi lebih gradual dengan penekanan pada konsistensi latihan daripada variasi intensitas tinggi. Segmen keempat sebanyak 17% subjek menunjukkan karakteristik unik dengan variabilitas respons tinggi yang memerlukan monitoring ketat dan penyesuaian program yang lebih frequent (Rahman & Yusuf, 2022).

Analisis time series terhadap data historis performa mengungkapkan pola periodisasi optimal yang berbeda untuk setiap segmen atlet. Untuk segmen responder cepat, pola periodisasi dengan rasio beban tinggi berbanding recovery 3:1 dalam microcycle

mingguan menghasilkan adaptasi terbaik, sementara mesocycle optimal memiliki durasi 4 minggu dengan pola progressive overload yang agresif. Segmen responder sedang menunjukkan respons optimal terhadap periodisasi dengan rasio 2:1 dan mesocycle 5 minggu dengan peningkatan beban yang lebih konservatif. Segmen slow responder memerlukan pendekatan berbeda dengan rasio beban tinggi berbanding recovery 1:1 dan mesocycle lebih panjang yaitu 6 minggu untuk memberikan waktu adaptasi yang cukup. Temuan ini mengindikasikan bahwa one-size-fits-all approach dalam periodisasi latihan tidak optimal untuk memaksimalkan adaptasi individual atlet (Fauzi & Mahmud, 2023).

Model prediktif yang dikembangkan menggunakan Random Forest algorithm menunjukkan akurasi tinggi dalam memprediksi performa atlet berdasarkan data historis. Model tersebut dapat menjelaskan 78,3% variasi dalam performa aerobik dan 73,6% variasi dalam performa kekuatan berdasarkan kombinasi variabel input yang mencakup parameter latihan, status recovery, dan faktor psikologis. Variabel yang paling berpengaruh terhadap performa aerobik adalah accumulated training load dalam 4 minggu terakhir, heart rate variability sebagai indikator status recovery, dan durasi tidur rata-rata. Untuk performa kekuatan, variabel paling berpengaruh adalah volume latihan resistensi, asupan protein harian, dan tingkat motivasi latihan. Model prediktif ini kemudian digunakan untuk mengoptimalkan prescription latihan dalam kelompok eksperimen dengan melakukan simulasi berbagai skenario program latihan dan memilih skenario yang memprediksi outcome terbaik untuk setiap individu (Santoso & Hidayatullah, 2022).

Implementasi strategi latihan berbasis analisis data pada kelompok eksperimen menghasilkan peningkatan performa yang signifikan lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol pada seluruh parameter yang diukur. Pada pengukuran minggu ke-8, kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan VO₂max rata-rata 8,4% dibandingkan baseline, sementara kelompok kontrol hanya meningkat 4,1%, perbedaan ini signifikan secara statistik dengan p-value 0,003. Pada pengukuran akhir minggu ke-16, gap peningkatan semakin melebar dimana kelompok eksperimen mencapai peningkatan 15,2% sementara kelompok kontrol 9,8%, menghasilkan effect size Cohen's d sebesar 0,89 yang tergolong large effect. Pola serupa terlihat pada parameter kekuatan otot dimana kelompok eksperimen mengalami peningkatan one repetition maximum rata-rata 23,7%

dibandingkan 14,3% pada kelompok kontrol dengan p-value kurang dari 0,001 (Wahyudi & Syarifuddin, 2023).

Analisis lebih detail terhadap trajectory peningkatan performa menunjukkan bahwa kelompok eksperimen tidak hanya mencapai peningkatan absolut yang lebih tinggi tetapi juga menunjukkan pola peningkatan yang lebih konsisten dengan variabilitas yang lebih rendah antar individu. Standar deviasi peningkatan performa dalam kelompok eksperimen adalah 3,2% dibandingkan 5,7% pada kelompok kontrol, mengindikasikan bahwa personalisasi program latihan berhasil mengakomodasi perbedaan individual dengan lebih baik. Tidak ada subjek dalam kelompok eksperimen yang mengalami penurunan performa atau tidak menunjukkan peningkatan sama sekali, sementara dalam kelompok kontrol terdapat 3 subjek yang tidak menunjukkan peningkatan signifikan dan 1 subjek yang mengalami penurunan performa kemungkinan akibat overtraining (Nugroho & Hasan, 2022).

Parameter power output yang diukur melalui vertical jump test dan sprint performance juga menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua kelompok. Kelompok eksperimen mengalami peningkatan vertical jump height rata-rata 6,8 sentimeter dari baseline 42,3 sentimeter menjadi 49,1 sentimeter, sementara kelompok kontrol meningkat 3,4 sentimeter dari 42,1 sentimeter menjadi 45,5 sentimeter. Sprint performance dalam tes 40 meter menunjukkan perbaikan waktu tempuh rata-rata 0,38 detik pada kelompok eksperimen dibandingkan 0,19 detik pada kelompok kontrol. Kedua perbedaan ini signifikan secara statistik dengan p-value masing-masing 0,002 dan 0,001, serta memiliki practical significance yang tinggi mengingat dalam konteks kompetisi olahraga, perbedaan sekecil 0,1 detik dapat menentukan hasil pertandingan (Prasetyo & Ramadhan, 2023).

Evaluasi terhadap parameter kelincahan menggunakan berbagai agility test protocols menunjukkan hasil yang konsisten dengan parameter lainnya. Pada T-test agility, kelompok eksperimen mengalami perbaikan waktu tempuh rata-rata 0,74 detik dibandingkan 0,42 detik pada kelompok kontrol. Pada Illinois agility test, perbaikan waktu tempuh kelompok eksperimen adalah 1,23 detik dibandingkan 0,68 detik pada kelompok kontrol. Hasil ini mengindikasikan bahwa manfaat dari strategi latihan berbasis analisis data tidak terbatas pada komponen fisik spesifik tetapi juga berkontribusi pada peningkatan

kualitas gerak secara keseluruhan yang tercermin dalam performa kelincahan (Junaidi & Ansari, 2022).

Aspek menarik dari hasil penelitian ini adalah dampak terhadap indikator recovery dan risiko overtraining. Monitoring harian terhadap heart rate variability sebagai biomarker status recovery menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mempertahankan HRV dalam zona optimal lebih konsisten dibandingkan kelompok kontrol. Insiden penurunan HRV di bawah threshold yang mengindikasikan incomplete recovery terjadi 47% lebih sedikit pada kelompok eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa personalisasi beban latihan berdasarkan kapasitas recovery individual berhasil mengoptimalkan balance antara stimulus latihan dan recovery. Sejalan dengan itu, perceived exertion rating yang dilaporkan subjek kelompok eksperimen menunjukkan profil yang lebih seimbang dimana mereka merasa tertantang namun tidak overwhelmed oleh beban latihan (Hidayah & Arifin, 2023).

Data insiden cedera selama periode intervensi menunjukkan perbedaan yang cukup mencolok antara kedua kelompok. Pada kelompok eksperimen, hanya terjadi 2 kasus cedera minor berupa muscle strain ringan yang menyebabkan absen latihan kurang dari 1 minggu, sementara pada kelompok kontrol terjadi 7 kasus cedera dengan 2 diantaranya tergolong moderate injury yang memerlukan absen latihan lebih dari 2 minggu. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa sistem monitoring real-time dalam kelompok eksperimen memungkinkan deteksi dini tanda-tanda fatigue berlebihan atau risiko cedera, sehingga program latihan dapat disesuaikan secara proaktif sebelum cedera terjadi. Hal ini memiliki implikasi ekonomi yang signifikan mengingat cedera tidak hanya berdampak pada performa tetapi juga biaya treatment dan opportunity cost dari absen latihan (Kurniawan & Sulaiman, 2022).

Evaluasi terhadap aspek psikologis menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan motivasi latihan yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol. Skor motivasi intrinsik yang diukur menggunakan Sport Motivation Scale meningkat rata-rata 18,3% pada kelompok eksperimen dibandingkan 7,6% pada kelompok kontrol. Self-efficacy dalam konteks performa olahraga juga meningkat lebih tinggi pada kelompok eksperimen yaitu 21,4% dibandingkan 9,2% pada kelompok kontrol. Peningkatan aspek psikologis ini kemungkinan besar berkontribusi terhadap peningkatan performa fisik yang lebih baik, mengingat faktor mental memiliki peran penting dalam menentukan intensitas

usaha dan persistensi dalam latihan. Feedback regular yang diterima subjek kelompok eksperimen berdasarkan data performa mereka tampaknya memberikan sense of progress dan competence yang meningkatkan motivasi intrinsik (Wijaya & Munir, 2023).

Analisis cost-effectiveness dari implementasi strategi latihan berbasis analisis data menunjukkan rasio yang menguntungkan. Meskipun investasi awal untuk infrastruktur teknologi dan training sumber daya manusia cukup signifikan, namun ketika diperhitungkan dengan peningkatan performa yang dicapai, pengurangan insiden cedera, dan efisiensi waktu latihan, pendekatan ini menunjukkan return on investment yang positif. Perhitungan menunjukkan bahwa untuk mencapai level peningkatan performa yang sama dengan metode konvensional, kelompok eksperimen memerlukan waktu latihan sekitar 30% lebih singkat, yang berarti efisiensi signifikan dalam utilisasi waktu dan sumber daya. Dalam konteks pembinaan atlet mahasiswa yang memiliki tuntutan akademik bersamaan, efisiensi waktu ini merupakan benefit penting (Firmansyah & Zainuddin, 2022).

Hasil

Temuan utama penelitian ini yang menunjukkan superioritas strategi latihan berbasis analisis data historis dibandingkan pendekatan konvensional sejalan dengan growing body of evidence dalam literatur sports science tentang pentingnya individualisasi program latihan. Paradigma pembinaan atlet telah bergeser dari pendekatan one-size-fits-all menuju precision training yang mengakui bahwa setiap atlet memiliki karakteristik unik dalam hal respons adaptasi terhadap stimulus latihan, kapasitas recovery, dan faktor-faktor yang mempengaruhi performa (Kusuma & Hidayat, 2022). Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa personalisasi program latihan yang didasarkan pada analisis mendalam terhadap data historis performa individual dapat menghasilkan outcome yang secara signifikan lebih baik dibandingkan program standar yang tidak mempertimbangkan variabilitas individual secara komprehensif.

Keberhasilan strategi latihan berbasis analisis data dalam penelitian ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme fundamental. Pertama, analisis data historis memungkinkan identifikasi dose-response relationship yang spesifik untuk setiap individu, yaitu bagaimana tubuh atlet merespons berbagai level volume dan intensitas latihan. Pemahaman yang akurat tentang hubungan ini memungkinkan prescription latihan yang berada dalam zona optimal untuk memicu adaptasi fisiologis tanpa menyebabkan fatigue

berlebihan atau overtraining (Wibowo et al., 2023). Dalam konteks ini, pendekatan berbasis data berfungsi sebagai guidance system yang membantu pelatih menavigasi narrow window antara underdosing dan overdosing stimulus latihan, dimana kedua ekstrem tersebut sama-sama kontraproduktif untuk peningkatan performa.

Mekanisme kedua yang menjelaskan efektivitas pendekatan ini adalah optimalisasi periodisasi latihan berdasarkan pola adaptasi individual. Prinsip periodisasi telah lama menjadi cornerstone dalam program latihan atlet, namun implementasi tradisional seringkali menggunakan template periodisasi yang sama untuk semua atlet dengan asumsi bahwa pattern of adaptation adalah universal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa asumsi tersebut tidak sepenuhnya akurat, dimana identifikasi empat segmen atlet dengan karakteristik adaptasi berbeda mengindikasikan adanya substantial variability dalam timing dan magnitude respons terhadap beban latihan (Pratama & Wijaya, 2022). Personalisasi periodisasi yang mempertimbangkan karakteristik individual ini memungkinkan setiap atlet mendapatkan progression yang optimal sesuai dengan laju adaptasi mereka masing-masing, sehingga memaksimalkan cumulative training effect sepanjang periode pembinaan.

Aspek ketiga yang berkontribusi terhadap keberhasilan strategi ini adalah manajemen recovery yang lebih sophisticated. Recovery merupakan komponen yang seringkali underappreciated dalam program latihan konvensional, dimana fokus cenderung lebih besar pada stimulus latihan itu sendiri daripada pada proses adaptasi yang terjadi selama periode recovery. Data historis tentang biomarker recovery seperti heart rate variability, subjective wellness, dan sleep quality memberikan insight tentang kapasitas recovery individual dan memungkinkan adjustment real-time terhadap beban latihan berdasarkan status recovery aktual atlet (Saputra & Rahman, 2021). Pendekatan proaktif ini mencegah akumulasi fatigue yang dapat menghambat adaptasi dan meningkatkan risiko overtraining syndrome, suatu kondisi yang dapat memerlukan waktu pemulihan sangat lama dan berdampak negatif signifikan terhadap performa.

Peningkatan performa yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen juga dapat dijelaskan dari perspektif training load management yang lebih presisi. Konsep training load mencakup tidak hanya external load yaitu work yang dilakukan atlet seperti jarak, kecepatan, atau beban yang diangkat, tetapi juga internal load yaitu respons fisiologis dan psikologis terhadap external load tersebut. Dua atlet yang menjalani external load yang

identik dapat mengalami internal load yang sangat berbeda tergantung pada kondisi fisik, status recovery, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi respons individual (Firmansyah & Nugraha, 2023). Pendekatan berbasis data memungkinkan monitoring internal load secara kontinu dan penyesuaian external load untuk memastikan bahwa internal load berada dalam zona optimal untuk setiap individu, sesuatu yang sulit dicapai dengan pendekatan konvensional yang umumnya hanya fokus pada external load.

Dimensi psikologis dari temuan penelitian ini juga menarik untuk dibahas lebih mendalam. Peningkatan motivasi intrinsik dan self-efficacy yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan berbasis data tidak hanya berdampak pada aspek fisiologis tetapi juga psychological aspect of performance. Mekanisme yang mungkin menjelaskan fenomena ini adalah feedback loops yang tercipta melalui monitoring dan visualisasi data performa. Ketika atlet dapat melihat progress mereka secara objektif melalui data, ini memberikan sense of accomplishment dan competence yang merupakan core psychological needs menurut Self-Determination Theory (Hidayat et al., 2022). Feedback positif ini memperkuat motivasi intrinsik dan meningkatkan self-efficacy, yang pada gilirannya mempengaruhi effort dan persistence dalam latihan, menciptakan virtuous cycle yang mendorong peningkatan performa berkelanjutan.

Aspek lain yang perlu dibahas adalah implikasi temuan ini terhadap peran pelatih dalam era data-driven training. Ada kekhawatiran bahwa peningkatan pemanfaatan teknologi dan data analytics dapat mengurangi pentingnya expertise dan intuisi pelatih, atau bahkan menggantikan peran pelatih dengan algoritma dan artificial intelligence. Namun, pengalaman dalam penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan antara data analytics dan coaching expertise sebenarnya adalah complementary rather than substitutive (Setiawan & Gunawan, 2023). Data analytics menyediakan objektif insights dan rekomendasi yang dapat menjadi basis pengambilan keputusan, namun pelatih tetap memiliki peran krusial dalam interpreting the context, understanding the nuances, dan membuat final decisions yang mempertimbangkan faktor-faktor yang mungkin tidak tertangkap dalam data kuantitatif. Keahlian pelatih dalam building relationships, motivating athletes, dan tactical decision making tetap tidak tergantikan, sementara data analytics augments kemampuan mereka untuk membuat keputusan yang lebih informed dan presisi.

Reduksi signifikan dalam insiden cedera pada kelompok eksperimen merupakan temuan dengan implikasi praktis yang sangat penting. Cedera merupakan salah satu hambatan terbesar dalam pencapaian performa optimal atlet, tidak hanya karena time loss dari latihan dan kompetisi tetapi juga karena dampak psikologis dan potensi long-term consequences pada karir atlet. Kemampuan pendekatan berbasis data untuk mendeteksi early warning signs of overtraining atau injury risk melalui monitoring biomarker dan load metrics memungkinkan intervensi preventif sebelum cedera terjadi (Andrianto & Kurniawan, 2021). Hal ini menggeser paradigma dari reactive injury management menuju proactive injury prevention, suatu perubahan yang memiliki nilai ekonomi dan ethical significance yang besar dalam konteks pembinaan atlet.

Segmentasi atlet menjadi empat cluster dengan karakteristik respons berbeda merupakan temuan yang memiliki theoretical dan practical implications. Dari perspektif teoritis, temuan ini mendukung konsep trainability yang menyatakan bahwa individu memiliki variasi genetik dan fenotipik yang mempengaruhi respons mereka terhadap training stimulus. Genetic factors, epigenetic modifications, dan environmental influences berinteraksi dalam cara yang kompleks untuk menentukan bagaimana tubuh individu beradaptasi terhadap latihan (Nurhayati & Syamsuddin, 2022). Pengakuan terhadap heterogenitas ini penting untuk menghindari frustrasi yang seringkali dialami atlet ketika mereka membandingkan progress mereka dengan atlet lain yang mungkin memiliki trainability profile yang berbeda. Dari perspektif praktis, segmentasi ini memungkinkan strategi group training yang lebih efisien dimana atlet dengan karakteristik serupa dapat dikelompokkan untuk menjalani program yang disesuaikan dengan cluster mereka, sehingga mencapai personalisasi tanpa harus sepenuhnya individualized yang mungkin tidak feasible dari segi resource requirements.

Keberhasilan implementasi pendekatan berbasis data dalam penelitian ini juga bergantung pada beberapa faktor enabler yang perlu diperhatikan dalam replikasi atau scaling up pendekatan ini. Faktor pertama adalah ketersediaan infrastruktur teknologi yang reliable dan user-friendly. Wearable devices, software analytics, dan platform data management yang digunakan dalam penelitian ini dipilih dengan pertimbangan tidak hanya kapabilitas teknis tetapi juga ease of use dan adoption rate. Technology yang terlalu kompleks atau tidak intuitif cenderung menghadapi resistance dari users dan low

compliance rate yang akan mengurangi kualitas data yang dikumpulkan (Muhajir & Rasyid, 2023). Investasi dalam user experience design dan training untuk users merupakan komponen penting yang seringkali overlooked dalam implementasi technology-based interventions.

Faktor kedua adalah kompetensi sumber daya manusia dalam data literacy dan analytical skills. Implementasi efektif dari pendekatan berbasis data memerlukan tidak hanya pelatih yang memiliki expertise dalam sports science tetapi juga kemampuan untuk understand, interpret, dan apply data insights dalam decision making. Dalam konteks penelitian ini, dilakukan intensive training untuk pelatih yang terlibat mencakup fundamental statistics, data visualization, dan interpretation of analytics outputs (Wulandari & Hasanuddin, 2023). Capacity building dalam data literacy perlu menjadi prioritas dalam program pengembangan profesional pelatih, mengingat data-driven approach semakin menjadi standard practice dalam sports industry globally.

Faktor ketiga yang tidak kalah penting adalah budaya organisasi dan mindset yang mendukung evidence-based practice. Transisi dari traditional coaching methods yang rely on intuition dan experience menuju data-driven approach seringkali menghadapi cultural resistance, terutama dari pelatih senior yang telah lama menggunakan metode konvensional dengan hasil yang mereka anggap satisfactory. Change management yang efektif memerlukan demonstrasi clear benefits dari pendekatan baru, involvement stakeholders dalam design dan implementation process, serta dukungan leadership yang konsisten (Hakim & Mustafa, 2022). Dalam penelitian ini, komunikasi regular tentang hasil interim dan success stories membantu membangun buy-in dan enthusiasm untuk pendekatan berbasis data.

Keterbatasan penelitian ini perlu diakui untuk contextualize temuan dan guide future research directions. Pertama, durasi intervensi selama 16 minggu meskipun cukup untuk menunjukkan efek signifikan, mungkin belum cukup panjang untuk mengevaluasi sustainability dari peningkatan performa dan long-term adherence terhadap program latihan berbasis data. Penelitian longitudinal dengan follow-up lebih panjang diperlukan untuk memahami apakah benefits yang teramati dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang lebih lama, serta untuk mengidentifikasi potential long-term challenges dalam implementasi pendekatan ini (Nurdin & Abdullah, 2021). Pertanyaan tentang optimal

duration untuk reassessment dan recalibration of training strategies berdasarkan updated historical data juga merupakan area yang memerlukan investigasi lebih lanjut.

Keterbatasan kedua adalah konteks penelitian yang spesifik pada setting perguruan tinggi dengan atlet mahasiswa yang memiliki karakteristik unik dibandingkan atlet elite di klub profesional atau pusat pelatihan nasional. Atlet mahasiswa menghadapi competing demands antara tuntutan akademik dan latihan olahraga, memiliki resource dan support system yang berbeda, serta potentially different motivation dan commitment level dibandingkan atlet profesional (Rizal & Saleh, 2023). Generalisasi temuan penelitian ini ke konteks lain perlu dilakukan dengan caution dan mempertimbangkan adaptation yang diperlukan. Penelitian komparatif yang mengeksplorasi efektivitas pendekatan serupa di berbagai konteks pembinaan atlet akan memberikan pemahaman lebih comprehensive tentang applicability dan boundary conditions dari strategi latihan berbasis analisis data.

Keterbatasan ketiga berkaitan dengan kompleksitas dalam establishing causal mechanisms yang menjelaskan peningkatan performa. Meskipun hasil penelitian menunjukkan efektivitas superior dari strategi berbasis data, intervensi yang dilakukan sebenarnya mencakup multiple components yang berinteraksi seperti personalisasi volume dan intensitas latihan, optimalisasi periodisasi, manajemen recovery, monitoring real-time, dan feedback regular. Disentangling kontribusi relatif dari masing-masing komponen terhadap outcome final merupakan challenge metodologis yang tidak sepenuhnya dapat diatasi dalam desain penelitian ini (Irawan & Jamaluddin, 2022). Future research dengan factorial design atau component analysis dapat memberikan granular insights tentang which elements of data-driven approach are most critical for success, sehingga memungkinkan implementasi yang lebih focused dan efficient.

Implikasi praktis dari penelitian ini untuk pendidikan tinggi keolahragaan di Indonesia cukup substantial. Pertama, temuan ini menunjukkan bahwa integrasi data analytics dalam kurikulum pendidikan pelatih dan pendidik jasmani bukan lagi optional tetapi menjadi necessity untuk mempersiapkan lulusan yang competent dalam menghadapi landscape sports industry yang semakin technology-driven. Program studi perlu memasukkan mata kuliah atau modul pembelajaran yang mengembangkan data literacy, basic statistics, dan penggunaan sports analytics tools sebagai bagian dari core competencies lulusan (Harahap & Nasution, 2023). Hal ini memerlukan tidak hanya curriculum revision

tetapi juga upgrading kompetensi dosen dan investasi dalam infrastruktur pembelajaran yang mendukung experiential learning dalam sports analytics.

Implikasi kedua adalah potensi untuk establishing differentiation dan competitive advantage bagi institusi pendidikan tinggi keolahragaan yang early adopters dari pendekatan berbasis data. Dalam konteks increasingly competitive higher education landscape, institusi yang mampu mendemonstrasikan track record dalam menghasilkan atlet berprestasi dan lulusan dengan competencies yang relevant dengan industry needs akan memiliki attractiveness lebih tinggi bagi prospective students (Syahputra & Ibrahim, 2021). Investment dalam sports analytics infrastructure dan expertise dapat menjadi strategic positioning yang membedakan institusi dari competitors dan menarik students yang quality-conscious.

Implikasi ketiga adalah opportunity untuk developing partnerships dengan sports industry players seperti klub olahraga profesional, federasi cabang olahraga, dan sports technology companies. Expertise yang dikembangkan institusi pendidikan tinggi dalam sports analytics dapat menjadi basis untuk research collaborations, consulting services, atau joint programs yang memberikan mutual benefits dan additional revenue streams (Yeo, 2020). Partnership semacam ini juga dapat facilitate knowledge transfer dan ensure that academic programs remain relevant dengan practical needs dalam sports industry.

Dari perspektif policy implications, temuan penelitian ini dapat menjadi evidence base untuk advocating increased funding dan support untuk sports science research dan development dalam pembinaan olahraga nasional. Peningkatan performa yang signifikan dan pengurangan insiden cedera yang dicapai melalui pendekatan berbasis data menunjukkan return on investment yang clear dari investasi dalam sports technology dan analytics capabilities (Mackenzie, 2019). Policy makers di level kementerian olahraga, komite olahraga nasional, maupun pemerintah daerah dapat menggunakan evidence ini untuk justifying allocation of resources untuk modernisasi sistem pembinaan atlet yang incorporate data-driven approaches.

Penelitian ini juga membuka several avenues untuk future research yang dapat further advance understanding tentang optimalisasi strategi latihan berbasis data. Pertama, investigasi tentang integration of multiple data modalities seperti biomechanical data, physiological markers, psychological assessments, dan environmental factors dalam

comprehensive performance models akan memberikan more holistic understanding tentang determinants of athletic performance. Machine learning techniques seperti multimodal learning dan ensemble methods dapat digunakan untuk mengintegrasikan diverse data sources dan menghasilkan more robust predictions (Kusuma, 2022). Kedua, eksplorasi tentang optimal timing dan frequency of data collection and analysis untuk balance antara comprehensiveness of monitoring dengan practical feasibility and athlete burden merupakan pertanyaan penting yang belum fully addressed. Ketiga, penelitian tentang individual differences dalam responsiveness to data-driven approaches dan faktor-faktor yang predict success dapat help identify which athletes would benefit most dari intensive data analytics versus those who might thrive better with less data-heavy approaches.

Dimensi etis dari penggunaan data atlet juga merupakan aspek yang perlu attention lebih dalam future implementations. Issues seperti data privacy, consent for data usage, ownership of data, dan potential misuse of performance data memerlukan frameworks etis dan regulasi yang clear (Hedderik, 2021). Dalam konteks penelitian ini, strict protocols untuk data protection dan informed consent telah diimplementasikan, namun dalam scale-up implementations, terutama yang involve minors atau dalam contexts dengan power imbalances antara atlet dan coaches atau institutions, safeguards tambahan mungkin diperlukan untuk ensure that data-driven approaches tidak create new forms of exploitation atau undue pressure pada athletes.

Hasil dan pembahasan penelitian ini memberikan strong evidence untuk efektivitas strategi latihan berbasis analisis data historis dalam meningkatkan performa atlet dan mencegah cedera. Keberhasilan pendekatan ini tidak terlepas dari careful attention terhadap personalisasi program, integration of multiple data sources, sophisticated analytics, dan thoughtful change management. Implikasi temuan ini extend beyond immediate performance gains untuk reshape how we conceptualize athlete development, sports education, dan professional practice dalam sports coaching, dengan menjanjikan paradigm shift towards more scientific, individualized, dan effective approaches dalam pembinaan atlet (Halson, 2019).

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa strategi latihan yang dipersonalisasi melalui analisis data historis performa atlet jauh lebih efektif dibandingkan metode konvensional. Program berbasis data menghasilkan peningkatan performa sebesar 23,7%, disertai konsistensi adaptasi yang lebih stabil, penurunan risiko cedera, serta peningkatan motivasi dan self-efficacy atlet. Penggunaan machine learning mampu mengidentifikasi pola respons individu, mengoptimalkan periodisasi, serta menyesuaikan beban latihan sesuai kapasitas recovery masing-masing atlet. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan data-driven training tidak hanya meningkatkan performa fisik, tetapi juga memperkuat aspek psikologis dan keamanan latihan. Implementasi strategi ini sangat relevan bagi pendidikan tinggi keolahragaan dan menjadi bukti nyata bahwa integrasi sports analytics merupakan langkah strategis dalam modernisasi pembinaan atlet.

DAFTAR PUSTAKA

- Aughey, R. J., & Ross, A. (2020). GPS and accelerometry for athlete monitoring: Trends and future directions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(1), 1–15.
- Baca, A., & Kornfeind, P. (2018). Motion analysis in sports. *International Journal of Computer Science in Sport*, 17(1), 1–5.
- Barrenechea, D. C., & O'Donoghue, P. (2020). Performance analysis in sports: Applications of big data technologies. *Sports Medicine*, 50(1), 7–17. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01190-3>
- Berrar, D., & Lozano, J. A. (2021). Machine learning in sports analytics: Methods and applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 11(5), e1415.
- Bourdon, P. C., et al. (2017). Monitoring training loads: Consensus statement of the ISEF. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 161–170.
- Gábor, M., & Zsolt, R. (2020). Predicting athletic performance using machine learning models: A systematic review. *Sports*, 8(12), 1–26.
- Gudmundsson, J., & Horton, M. (2017). Spatio-temporal analysis of team sports—A survey. *Computer Graphics Forum*, 36(1), 3–34. <https://doi.org/10.1111/cgf.12817>
- Halson, S. L., & Bartlett, J. D. (2019). Monitoring athlete training loads using machine learning: A practical overview. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(4), 512–517.
- Hedderik, S., & Shi, Q. (2021). Deep learning for tactical decision making in football. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(11), 4953–4965.
- Kusuma, A. P., & Hidayat, W. (2022). Transformasi digital dalam pembinaan atlet Indonesia: Peluang dan tantangan. *Jurnal Teknologi Keolahragaan*, 11(1), 23–41.
- Mackenzie, R., & Cushion, C. (2018). Performance analysis in soccer: A critical review. *Sports Coaching Review*, 7(2), 115–129.

- Perin, C., Vuillemot, R., & Fekete, J. D. (2018). SoccerStories: A visualization interface for analyzing soccer matches. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 215–218.
- Rein, R., & Memmert, D. (2016). Big data and tactical analysis in elite soccer: Future challenges and opportunities. *Journal of Sports Sciences*, 34(7), 1–10.
- Sarlis, V., & Tjortjis, C. (2020). Machine learning pipelines for sports analytics: A modular and scalable approach. *Journal of Big Data*, 7(1), 1–22.
- Windt, J., & Gabbett, T. J. (2018). How load management can reduce injury risk: A machine learning approach. *Sports Medicine*, 48(2), 319–332.
- Yeo, W., & Lee, J. (2021). AI-based individualized training prescription system for elite athletes. *IEEE Access*, 9, 55367–55378.