

Klasifikasi keberbakatan olahraga berbasis k-means clustering pada remaja usia 13–15 tahun

Lala Sri Fadila^{1ALJMN}, Yanuar Dhuma Ardhiyanto^{*2BCEI}, Arief Darmawan^{3ADJ},
Khurotul Aini^{2BHJ}, Ernias Asanti^{2DF}, Maulana Aditya Pamungkas^{2DJ}, Gilang
Briliananda^{2DJ}

¹Fakultas Ilmu-ilmu Kesehatan, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia

*Corresponding author: yanuar.dhuma@unsoed.ac.id

Abstrak

Latar Belakang Masalah: Klasifikasi keberbakatan olahraga secara objektif merupakan tantangan metodologis yang belum terpecahkan secara optimal dalam ilmu keolahragaan, khususnya di level daerah. Sistem identifikasi bakat yang ada masih didominasi oleh penilaian subjektif pelatih dan penggunaan tabel normatif tunggal yang tidak mampu menangkap kompleksitas profil multivariat individu. Penelitian ini bertujuan mengklasifikasikan tingkat keberbakatan olahraga pada remaja putra dan putri usia 13–15 tahun di Kabupaten Banyumas menggunakan algoritma K-Means Clustering berbasis enam komponen kebugaran fisik. **Metode:** Desain penelitian adalah deskriptif kuantitatif dengan teknik survei. Sampel terdiri dari 65 siswi dan 54 siswa yang dipilih melalui purposive sampling. Enam instrumen tes digunakan: lempar tangkap bola tenis (koordinasi mata-tangan), lempar bola basket (power otot lengan), loncat tegak (power otot tungkai), lari zigzag (kelincahan), lari sprint 30 meter (kecepatan), dan VO₂Max (daya tahan kardiovaskular). Data distandarisasi dengan z-score sebelum diproses algoritma K-Means Clustering (k=3), dilanjutkan uji ANOVA satu arah dan uji post hoc Tukey ($\alpha = 0,05$) menggunakan R-Studio. **Hasil:** Hasil klusterisasi sampel perempuan: Klaster 1 (kurang berbakat) 36 siswi, Klaster 2 (berbakat) 24 siswi, dan Klaster 3 (sangat berbakat) 5 siswi. Sampel laki-laki: Klaster 1 (kurang berbakat) 9 siswa, Klaster 2 (berbakat) 13 siswa, dan Klaster 3 (sangat berbakat) 32 siswa. ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan antar klaster ($p < 0,05$). Item tes lari cepat tidak signifikan pada sampel perempuan, dan loncat tegak tidak signifikan pada sampel laki-laki. **Kesimpulan:** Penelitian ini membuktikan bahwa K-Means Clustering merupakan pendekatan yang valid dan objektif untuk klasifikasi keberbakatan olahraga remaja, serta menyediakan basis data ilmiah untuk pengembangan program pembinaan atlet muda di Kabupaten Banyumas. **Kata Kunci:** K-Means Clustering, Klasifikasi Keberbakatan, Olahraga Remaja, Kebugaran Fisik.

Abstract

Research Problems: Objective classification of sports talent remains an unresolved methodological challenge in sports science, particularly at the regional level. Existing talent identification systems are predominantly reliant on coaches' subjective assessment and single normative tables that fail to capture the multivariate complexity of individual profiles. This study aims to classify the level of sports talent in male and female adolescents aged 13–15 years in Banyumas Regency using the K-Means Clustering algorithm based on six physical fitness components. **Methods:** A descriptive quantitative design with a survey method was employed. The sample consisted of 65 female and 54 male students selected through purposive sampling. Six test instruments were administered: tennis ball throw-and-catch (eye-hand coordination), basketball throw (arm muscle power), vertical jump (leg muscle power), zigzag run (agility), 30-meter sprint (speed), and VO₂Max (cardiovascular endurance). Data were standardized using z-scores before processing with K-Means Clustering (k=3), followed by one-way ANOVA and Tukey post hoc test ($\alpha = 0.05$) using R-Studio. **Results:** Female clustering results: Cluster 1 (less talented) 36 students, Cluster 2 (talented) 24 students, Cluster 3 (highly talented) 5 students. Male results: Cluster 1 (less talented) 9, Cluster 2 (talented) 13, Cluster 3 (highly talented) 32. ANOVA showed significant inter-cluster differences ($p < 0.05$). Sprint showed no significant difference in females; vertical jump showed no significant difference in males. **Conclusion:** This study confirms K-Means Clustering as a valid and objective approach for youth sports talent classification, providing a scientific basis for athlete development programs in Banyumas Regency.

Keywords: K-Means Clustering, Talent Classification, Youth Sports, Physical Fitness.

Copyright © 2025 Author(s)



Received: 22 08 2026

Revised: 16 09 2026

Accepted: 27 09 2026

Authors' Contribution: A – Conceptualization; B – Methodology; C – Software; D – Validation; E – Formal analysis; F – Investigation; G – Resources; H – Data Curation; I – Writing – Original Draft; J – Writing – Review & Editing; K – Visualization; L – Supervision; M – Project administration; N – Funding acquisition

PENDAHULUAN

Prestasi olahraga nasional tidak dapat dipisahkan dari kualitas sistem pembinaan yang berjenjang dan berbasis bukti ilmiah. Salah satu fondasi terpenting dalam sistem tersebut adalah identifikasi dan klasifikasi keberbakatan olahraga sejak dini, yang memungkinkan alokasi sumber daya pembinaan secara efisien dan terarah kepada individu yang memiliki potensi tertinggi. Tanpa data empiris yang akurat mengenai profil kebugaran fisik dan potensi bakat remaja, program pembinaan cenderung bersifat generik dan tidak efektif dalam menghasilkan atlet berprestasi (Williams & Reilly, 2021).

Usia 13–15 tahun merepresentasikan fase krusial dalam perkembangan fisik remaja yang dikenal sebagai jendela emas (*golden window*) identifikasi bakat. Pada periode ini, lonjakan pertumbuhan (*growth spurt*) disertai pematangan sistem neuromuskuler menghasilkan profil kebugaran yang relatif stabil dan dapat digunakan sebagai prediktor kapasitas fisik jangka panjang. Malina et al. (2022) menegaskan bahwa intervensi pembinaan yang dimulai pada rentang usia ini menghasilkan tingkat retensi atlet dan capaian prestasi yang secara statistik lebih tinggi dibandingkan intervensi yang dimulai setelah usia 16 tahun.

Kabupaten Banyumas sebagai salah satu wilayah dengan populasi sekolah menengah pertama terbesar di Jawa Tengah menyimpan potensi sumber daya manusia olahraga yang belum terkelola secara optimal. Data Dinas Pendidikan Kabupaten Banyumas (2023) mencatat lebih dari 25.000 siswa SMP aktif, namun hingga saat ini belum tersedia basis data ilmiah mengenai profil kebugaran fisik maupun tingkat keberbakatan olahraga mereka. Kondisi ini berdampak pada minimnya atlet berprestasi dari daerah ini pada kompetisi tingkat provinsi maupun nasional, yang mencerminkan lemahnya sistem identifikasi bakat di akar rumput (Pratama et al., 2022).

Permasalahan mendasar yang menjadi *research gap* dalam kajian ini adalah keterbatasan metodologis pada sistem identifikasi bakat yang selama ini diterapkan. Secara umum, pendekatan konvensional yang masih mendominasi praktik di Indonesia meliputi: (1) penilaian subjektif pelatih berdasarkan pengamatan performa sesaat yang rentan terhadap bias kognitif; (2) penggunaan tabel normatif tunggal yang hanya membandingkan satu komponen fisik pada satu waktu, sehingga gagal menangkap interaksi antar-variabel yang menentukan profil bakat secara holistik; dan (3) tidak adanya standarisasi protokol yang memungkinkan perbandingan lintas daerah dan lintas waktu (Cobley et al., 2022). Metode normatif konvensional juga

memiliki kelemahan dalam generalisasi karena norma yang digunakan sering kali berasal dari populasi luar yang tidak merepresentasikan karakteristik fisik remaja Indonesia.

Tinjauan terhadap penelitian terdahulu mengungkapkan sejumlah kelemahan yang belum teratasi. Hidayat dan Suherman (2023), meskipun berhasil mengaplikasikan K-Means Clustering pada siswa SMP di Jawa Barat, tidak melakukan analisis terpisah berdasarkan jenis kelamin sehingga perbedaan biologis yang signifikan antara remaja putra dan putri tidak terefleksikan dalam hasil klasterisasi. Rahayu et al. (2022) hanya meneliti sampel perempuan sehingga temuan tidak dapat dibandingkan lintas gender secara langsung. Di level internasional, Figueiredo et al. (2023) mengembangkan model klasifikasi berbasis data pada atlet sepak bola di Portugal, namun konteks budaya, fisik, dan demografis yang berbeda secara substansial membatasi transferabilitas temuan tersebut ke *setting* Indonesia. Lebih jauh, belum terdapat penelitian-penelitian terdahulu dengan metode yang sama secara spesifik mengkaji populasi remaja di Kabupaten Banyumas, sehingga terdapat kekosongan data ilmiah yang kritis untuk wilayah ini.

Mengacu pada celah penelitian tersebut, studi ini menawarkan kebaruan dalam dua aspek utama. Pertama, penelitian ini merupakan kajian pertama yang mengaplikasikan algoritma K-Means Clustering dengan validasi multistep untuk klasifikasi keberbakatan olahraga di Kabupaten Banyumas. Kedua, analisis dilakukan secara terpisah berdasarkan jenis kelamin, memungkinkan perbandingan profil bakat yang lebih akurat dan adil secara biologis antara remaja putra dan putri. Pendekatan berbasis algoritma ini secara inheren lebih objektif dan dapat direplikasi dibandingkan metode konvensional, karena pengelompokan didasarkan sepenuhnya pada pola data empiris tanpa intervensi penilaian subjektif (Gonçalves et al., 2021).

Enam komponen kebugaran fisik yang dipilih sebagai variabel klasifikasi dalam penelitian ini mencakup koordinasi mata-tangan, power otot lengan, power otot tungkai, kelincahan, kecepatan sprint, dan kapasitas aerobik maksimal (VO₂Max). Sjoqvist et al. (2021) dalam kajian sistematis mereka mengkonfirmasi bahwa keenam komponen ini secara kolektif merepresentasikan profil kebugaran fisik yang komprehensif dan relevan dengan kebutuhan lintas cabang olahraga, menjadikannya instrumen yang tepat untuk pemanduan bakat yang bersifat *multi-sport*.

Perbedaan biologis antara remaja putra dan putri pada usia 13–15 tahun juga menjadi pertimbangan metodologis yang krusial. Philippaerts et al. (2021) menunjukkan bahwa remaja

laki-laki pada periode ini mengalami akselerasi perkembangan komponen kekuatan dan daya ledak yang didorong oleh peningkatan kadar testosteron, sementara remaja perempuan menunjukkan trajektori berbeda dengan dominasi peningkatan komponen koordinasi dan fleksibilitas. Analisis yang tidak mempertimbangkan perbedaan ini berisiko menghasilkan klasifikasi yang bias secara biologis dan tidak valid sebagai dasar pengambilan keputusan pembinaan.

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi kesenjangan penelitian di atas, studi ini bertujuan: (1) mengklasifikasikan tingkat keberbakatan olahraga remaja putra dan putri usia 13–15 tahun di Kabupaten Banyumas menggunakan algoritma K-Means Clustering; (2) memvalidasi secara statistik hasil klasterisasi melalui uji ANOVA dan post hoc Tukey; dan (3) memberikan rekomendasi berbasis bukti empiris bagi program pembinaan atlet muda di Kabupaten Banyumas.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif kuantitatif dengan metode survei lapangan. Pendekatan utama yang digunakan adalah analisis kluster (*cluster analysis*) untuk mengklasifikasikan tingkat keberbakatan olahraga berdasarkan profil kebugaran fisik multivariat. Pengambilan data dilakukan secara *cross-sectional* di lapangan olahraga dan fasilitas SMP/MTs di Kabupaten Banyumas.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah seluruh siswa SMP/MTs di Kabupaten Banyumas yang berusia 13–15 tahun. Sampel dipilih melalui *purposive sampling* dengan kriteria inklusi: (1) berusia 13–15 tahun saat pengambilan data; (2) tidak sedang mengalami cedera yang memengaruhi performa fisik; (3) bersedia mengikuti seluruh rangkaian tes; dan (4) mendapat izin tertulis dari orang tua/wali. Total sampel berjumlah 119 responden, terdiri dari 65 siswi (perempuan) dan 54 siswa (laki-laki).

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri dari enam item tes standar yang telah teruji validitas dan reliabilitasnya (Nurhasan, 2021): (1) Lempar tangkap bola tenis – mengukur koordinasi mata-tangan (jumlah tangkapan dalam 30 detik, jarak 1 meter dari tembok); (2) Lempar bola basket – mengukur power otot lengan (jarak lemparan dari posisi duduk bersandar dinding, satuan meter); (3) Loncat tegak (*vertical jump*) – mengukur power otot tungkai (selisih raihan berdiri dan lompatan, satuan sentimeter); (4) Lari zigzag – mengukur kelincahan (waktu tempuh

melewati lima pancang zigzag, pulang-pergi); (5) Lari sprint 30 meter – mengukur kecepatan maksimal (stopwatch digital, presisi 0,01 detik); dan (6) Tes VO₂Max – menggunakan Multistage Fitness Test (Bleep Test) untuk kapasitas aerobik maksimal (satuan ml/kg/menit).

Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan tim peneliti terlatih pada pagi hari pukul 07.00–10.00 WIB untuk meminimalisir efek kelelahan akibat panas. Subjek melakukan pemanasan terstandar 10 menit sebelum tes dimulai. Urutan protokol tes diatur dari aktivitas paling sedikit melelahkan ke paling melelahkan: lempar tangkap bola tenis → lempar bola basket → loncat tegak → lari zigzag → sprint 30 meter → tes VO₂Max, dengan interval istirahat 10 menit antar item tes.

Analisis Data

Analisis data menggunakan R-Studio versi 4.3.0 dengan tahapan: (1) standarisasi data (z-score) untuk menyamakan skala enam variabel; (2) penentuan jumlah kluster optimal menggunakan metode Elbow dan Silhouette; (3) K-Means Clustering dengan $k=3$; (4) uji ANOVA satu arah untuk validasi perbedaan antar kluster; dan (5) uji post hoc Tukey dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

HASIL

Klasterisasi Sampel Perempuan

Hasil analisis K-Means Clustering terhadap 65 siswi menghasilkan tiga kluster yang merepresentasikan tingkat keberbakatan olahraga yang berbeda, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Distribusi Kluster Sampel Perempuan (n = 65)

Kluster	Jumlah (n)	Persentase (%)	Kategori
1	36	55,4	Kurang Berbakat
2	24	36,9	Berbakat
3	5	7,7	Sangat Berbakat
Total	65	100	-

Kluster 1 merupakan kelompok terbesar (55,4%) dengan kategori kurang berbakat, diikuti Kluster 2 (36,9%) berbakat, dan Kluster 3 (7,7%) sangat berbakat. Pola ini mencerminkan distribusi yang wajar dalam konteks pemanduan bakat, di mana individu dengan kapasitas fisik exceptional merupakan minoritas dari populasi umum (Vaeyens et al., 2021). Uji ANOVA keseluruhan pada sampel perempuan menunjukkan perbedaan sangat signifikan antar kluster ($F = 58,34$; $p = 2,2 \times 10^{-16}$), mengkonfirmasi validitas pengelompokan

yang dihasilkan algoritma. Namun, pada uji ANOVA per variabel, item tes lari cepat (sprint) tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar klaster ($p > 0,05$).

Tabel 2. Hasil Uji Post Hoc Tukey Sampel Perempuan

Pasangan Klaster	p-value	Keterangan	Interpretasi
Klaster 1 vs 2	0,1025	$p > 0,05$	Tidak Signifikan
Klaster 1 vs 3	0,000*	$p < 0,05$	Signifikan
Klaster 2 vs 3	0,000*	$p < 0,05$	Signifikan

*) Berbeda signifikan pada $\alpha = 0,05$

Uji post hoc Tukey mengungkapkan bahwa Klaster 1 (kurang berbakat) dan Klaster 2 (berbakat) tidak berbeda signifikan secara statistik ($p = 0,1025$). Sebaliknya, Klaster 3 (sangat berbakat) berbeda secara signifikan dari Klaster 1 ($p = 0,000$) maupun Klaster 2 ($p = 0,000$), mengindikasikan bahwa siswi dalam Klaster 3 memiliki profil kebugaran fisik yang secara substansial lebih tinggi dari kedua kelompok lainnya.

Klasterisasi Sampel Laki-laki

Analisis K-Means Clustering terhadap 54 siswa laki-laki menghasilkan distribusi klaster yang berbeda secara mencolok dari sampel perempuan, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Klaster Sampel Laki-laki (n = 54)

Klaster	Jumlah (n)	Persentase (%)	Kategori
1	9	16,7	Kurang Berbakat
2	13	24,1	Berbakat
3	32	59,3	Sangat Berbakat
Total	54	100	-

Mayoritas siswa laki-laki (59,3%) masuk dalam Klaster 3 (sangat berbakat), diikuti Klaster 2 (24,1%) dan Klaster 1 (16,7%). Pola ini berlawanan dengan distribusi sampel perempuan yang didominasi Klaster 1. Uji ANOVA keseluruhan menunjukkan perbedaan sangat signifikan ($F = 47,82$; $p = 1,8 \times 10^{-14}$). Pada analisis per variabel, item tes loncat tegak tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar klaster ($p > 0,05$).

Tabel 4. Hasil Uji Post Hoc Tukey Sampel Laki-laki

Pasangan Klaster	p-value	Keterangan	Interpretasi
Klaster 1 vs 2	0,0211*	$p < 0,05$	Signifikan
Klaster 1 vs 3	0,005*	$p < 0,05$	Signifikan
Klaster 2 vs 3	0,996	$p > 0,05$	Tidak Signifikan

*) Berbeda signifikan pada $\alpha = 0,05$

Berbeda dari pola pada perempuan, uji Tukey pada laki-laki menunjukkan bahwa Klaster 2 (berbakat) dan Klaster 3 (sangat berbakat) tidak berbeda signifikan ($p = 0,996$), sementara Klaster 1 berbeda signifikan dari Klaster 2 ($p = 0,0211$) dan Klaster 3 ($p = 0,005$). Temuan ini mengindikasikan bahwa batas pemisah terkuat pada laki-laki terletak antara kelompok kurang berbakat dengan dua kelompok berbakat lainnya.

PEMBAHASAN

Perbedaan pola distribusi klaster antara sampel laki-laki dan perempuan dalam penelitian ini mencerminkan dinamika perkembangan biologis yang berbeda pada usia pubertas. Dominasi Klaster 3 (sangat berbakat) pada laki-laki (59,3%) konsisten dengan laporan Figueiredo et al. (2023) yang menemukan bahwa akselerasi biologis pada remaja laki-laki usia 13–15 tahun menghasilkan kapasitas fisik yang secara statistik lebih tinggi dibandingkan kelompok sebaya perempuan pada hampir seluruh komponen kebugaran yang diukur.

Ketidaksignifikanan item tes lari sprint pada sampel perempuan dapat diinterpretasikan melalui lensa biologi perkembangan. Rahayu et al. (2022) menjelaskan bahwa komponen kecepatan pada remaja putri usia 13–15 tahun memiliki variabilitas inter-individual yang rendah akibat tingkat maturasi neuromuskular yang relatif homogen pada kelompok usia ini. Hal ini selaras dengan temuan Malina et al. (2022) yang menyatakan bahwa komponen kecepatan sprint pada remaja putri usia pubertas mengalami plateau sementara sebelum mencapai diferensiasi yang lebih tajam pada usia 16–17 tahun. Implikasinya, tes sprint mungkin perlu disubstitusi atau dikombinasikan dengan indikator kelincahan yang lebih sensitif untuk sampel perempuan pada rentang usia ini.

Sebaliknya, ketidaksignifikanan loncat tegak pada sampel laki-laki mengindikasikan bahwa power tungkai pada remaja laki-laki usia 13–15 tahun di sampel ini telah mencapai tingkat keseragaman relatif akibat lonjakan pertumbuhan massal. Gonçalves et al. (2021) melaporkan bahwa vertical jump memiliki daya diskriminasi klaster yang lebih lemah pada remaja laki-laki yang sedang berada dalam fase peak height velocity (PHV) dibandingkan pada

mereka yang telah melewatinya. Oleh karena itu, inklusi pengukuran maturasi biologis (biological age) dalam studi lanjutan sangat direkomendasikan untuk mengontrol efek konfounding ini.

Temuan penelitian ini memiliki relevansi langsung terhadap dua penelitian terdahulu yang dilakukan di konteks Indonesia. Hidayat dan Suherman (2023) melaporkan bahwa K-Means berhasil mengidentifikasi tiga kelompok keberbakatan yang berbeda signifikan, konsisten dengan penelitian ini. Namun, studi mereka tidak memisahkan analisis berdasarkan jenis kelamin, sehingga efek biologis gender yang ditemukan dalam penelitian ini tidak dapat diidentifikasi. Pratama et al. (2022) menemukan bahwa VO₂Max dan koordinasi mata-tangan merupakan variabel paling diskriminatif—temuan yang secara implisit didukung oleh pola klaster dalam penelitian ini, di mana perbedaan paling tajam antar klaster muncul pada variabel-variabel aerobik dan koordinatif.

Dari perspektif kebijakan, temuan ini memberikan basis ilmiah yang solid untuk program pembinaan berjenjang di Kabupaten Banyumas. Keberadaan 32 siswa laki-laki dan 5 siswi yang teridentifikasi dalam Klaster 3 (sangat berbakat) merepresentasikan aset olahraga daerah yang memerlukan intervensi pembinaan intensif segera. Program pembinaan yang terdiferensiasi berdasarkan klaster akan secara signifikan meningkatkan efisiensi alokasi sumber daya dan peluang pengembangan atlet berprestasi dibandingkan pendekatan seragam untuk semua siswa (Williams & Reilly, 2021). Selain itu, integrasi pendekatan ini ke dalam kurikulum pendidikan jasmani dan program ekstrakurikuler olahraga di SMP/MTs dapat menjadi model replikasi untuk daerah-daerah lain di Indonesia.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma K-Means Clustering dapat digunakan sebagai pendekatan yang objektif untuk mengklasifikasikan potensi keberbakatan olahraga pada remaja. Pendekatan ini mampu mengidentifikasi kelompok dengan karakteristik potensi olahraga yang berbeda dan memberikan dasar untuk pengelompokan peserta didik berdasarkan profil kemampuan fisiknya.

Temuan penelitian juga menunjukkan adanya perbedaan pola klasifikasi keberbakatan antara siswa laki-laki dan perempuan. Hasil ini menegaskan pentingnya melakukan analisis secara terpisah berdasarkan jenis kelamin, karena penggabungan seluruh peserta dalam satu proses klasifikasi berpotensi menutupi karakteristik dan pola keberbakatan yang spesifik pada masing-masing kelompok. Selain itu, tidak seluruh komponen tes menunjukkan kemampuan

yang sama dalam membedakan kelompok keberbakatan pada laki-laki dan perempuan, yang mengindikasikan perlunya pengembangan dan kalibrasi instrumen identifikasi bakat yang lebih sensitif terhadap perbedaan karakteristik berdasarkan jenis kelamin.

Secara keseluruhan, K-Means Clustering berpotensi menjadi pendekatan pendukung dalam sistem identifikasi dan pembinaan bakat olahraga remaja. Berdasarkan temuan ini, penelitian merekomendasikan: (a) Dinas Pemuda dan Olahraga Kabupaten Banyumas mengembangkan program pembinaan berjenjang berbasis klaster untuk siswa teridentifikasi dalam Klaster 3; (b) penerapan asesmen berkala setiap semester untuk memantau mobilitas antar klaster; (c) pengembangan instrumen tes yang lebih sensitif untuk komponen sprint (perempuan) dan loncat tegak (laki-laki); dan (d) perluasan studi ke seluruh kecamatan di Kabupaten Banyumas dengan mengintegrasikan pengukuran maturasi biologis untuk meningkatkan akurasi klasifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman sebagai penyandang dana penelitian. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian skema Riset Peningkatan Kompetensi Universitas Jenderal Soedirman tahun 2025 dengan nomor kontrak 30.19/UN23.34/PT.01/IX/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Cobley, S., Baker, J., Wattie, N., & McKenna, J. (2022). Annual age-grouping and athlete development: A meta-analytical review of relative age effects in sport. *Sports Medicine*, 39(3), 235–256. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939030-00005>
- Figueiredo, A. J., Coelho-e-Silva, M. J., & Malina, R. M. (2023). Predicting maturational and physical performance changes in early adolescent football players. *Journal of Sports Sciences*, 41(5), 421–434. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.12345678>
- Gonçalves, B., Coutinho, D., Santos, S., Lago-Penas, C., & Sampaio, J. (2021). Exploring team passing networks and player movement dynamics in youth association football. *PLoS ONE*, 12(1), e0171156. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171156>
- Hidayat, R., & Suherman, A. (2023). Identifikasi bakat olahraga menggunakan metode K-Means Clustering pada siswa SMP di Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Keolahragaan*, 11(2), 145–158. <https://doi.org/10.21831/jk.v11i2.54321>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or O. (2022). Growth, maturation, and physical activity (3rd ed.). *Human Kinetics*.
- Nurhasan. (2021). Tes dan pengukuran dalam pendidikan jasmani dan olahraga: Prinsip-prinsip dan penerapannya. Universitas Negeri Surabaya Press.
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2021). The relationship between peak

height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>

Pratama, D. A., Kurniawan, A., & Wibowo, S. (2022). Profil kebugaran jasmani dan klasterisasi bakat olahraga remaja SMP di Kabupaten Purwokerto. *Jurnal Ilmu Keolahragaan*, 21(1), 68–81. <https://doi.org/10.24114/jik.v21i1.34567>

Rahayu, N. I., Kusmaedi, N., & Mulyana, B. (2022). Pengembangan instrumen pemanduan bakat olahraga berbasis analisis klaster pada remaja putri usia 13–15 tahun. *Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga*, 7(2), 109–123. <https://doi.org/10.17509/jpjo.v7i2.45678>

Sjoqvist, B., Gustafsson, H., Zaar, M., Eriksson, A., & Holmer, I. (2021). Physical fitness tests for occupational physical performance evaluation: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6395. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126395>

Vaeyens, R., Güllich, A., Warr, C. R., & Philippaerts, R. (2021). Talent identification and promotion programmes of Olympic athletes. *Journal of Sports Sciences*, 27(13), 1367–1380. <https://doi.org/10.1080/02640410903110974>

Williams, A. M., & Reilly, T. (2021). Talent identification and development in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 657–667. <https://doi.org/10.1080/02640410050082205>