

PEMBELAJARAN PJOK BERBASIS DATA FISIOLOGIS: EVALUASI RESPONS DENYUT JANTUNG SISWA DALAM PEMBELAJARAN PJBL DAN TARL

Charisma Azizah Ibrahim^{1*}, Nurjamal², Helda Hairani³, Ramli Buhari⁴

¹Program Studi Pendidikan Profesi Guru, Universitas Mulawarman

^{2,4}Program Studi Pendidikan Jasmani, Universitas Mulawarman

³SMA Negeri 1 Samarinda

*Email Penulis Korespondensi: charismaazizahibrahim@gmail.com

Info Artikel	Abstrak
Kata kunci: PJOK Denyut Jantung Pembelajaran Berbasis Proyek <i>Teaching At The Right Level</i> Kebugaran Jasmani	Permasalahan rendahnya kebugaran jasmani siswa dan minimnya keterlibatan dalam pembelajaran PJOK menjadi tantangan utama dalam pelaksanaan kegiatan belajar mengajar. Kurangnya asesmen berbasis data dan pendekatan pembelajaran yang adaptif menghambat peningkatan kapasitas fisik siswa secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons fisiologis siswa terhadap pembelajaran PJOK yang menggunakan pendekatan Project-Based Learning (PjBL) dan Teaching at the Right Level (TaRL) dengan indikator utama berupa perubahan denyut jantung (Δ HR) sebelum dan sesudah aktivitas fisik. Penelitian dilakukan terhadap 100 siswa dari empat kelas (X-1, X-2, X-3, dan X-4) selama sepuluh pertemuan. Data dikumpulkan melalui pengukuran denyut jantung secara langsung menggunakan Teknik pengukuran detak jantung sederhana (hitungan dalam 15 detik x 4), kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan melihat pola Δ HR setiap pertemuan, perbandingan antar kelas, serta perubahan dari pertemuan awal ke pertemuan akhir.

Copyright (c) 2025 The Author
This is an open access article under the CC-BY-SA license



A. PENDAHULUAN

Kebugaran jasmani peserta didik merupakan aspek penting dalam pengembangan kualitas hidup dan kapasitas belajar di sekolah. Dalam konteks pembelajaran Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan (PJOK), kebugaran kardiovaskular menjadi salah satu indikator penting yang dapat diamati secara langsung melalui respon tubuh terhadap aktivitas fisik (Cunningham-Rose et al., 2024). Namun demikian, tantangan masih sering ditemukan dilapangan, khususnya rendahnya kapasitas kebugaran fisik siswa dan keterlibatan mereka dalam aktivitas jasmani yang berlangsung di kelas (Stöckel & Grimm, 2021).

Observasi yang dilakukan di empat kelas SMA Negeri 1 Samarinda menunjukkan bahwa sebagian besar siswa menunjukkan respons fisiologis yang lemah terhadap aktivitas jasmani. Indikator yang tampak antara lain kelelahan cepat, permintaan istirahat yang tinggi, dan minimnya partisipasi aktif saat pembelajaran berlangsung. Gejala ini muncul bahkan ketika aktivitas yang diberikan berada dalam intensitas ringan hingga sedang.

Untuk mendapatkan gambaran objektif mengenai kondisi tersebut, digunakan pengukuran denyut jantung siswa sebelum dan sesudah sesi pembelajaran. Pengukuran denyut jantung merupakan pendekatan sederhana dan efektif untuk menilai respons kardiovaskular terhadap latihan fisik (Pindus et al., 2018; Catai et al., 2020). Penggunaan heart rate monitor (HRM) atau pengawasan denyut jantung telah terbukti sebagai metode praktis dan valid untuk menilai efisiensi kerja jantung selama pembelajaran pada remaja (Dormal et al., 2021). Siswa yang

memiliki tingkat kebugaran lebih baik umumnya menunjukkan denyut jantung istirahat yang lebih rendah serta peningkatan denyut jantung yang lebih stabil ketika melakukan latihan dengan intensitas sedang (Strath et al., 2013). Sebaliknya, lonjakan denyut jantung yang ekstrem atau signifikan dapat menunjukkan rendahnya efisiensi kerja jantung dan paru-paru, yakni ketidaksiapan sistem kardiovaskular dan rendahnya kapasitas VO2 max (Bjelica et al., 2020).

Pengukuran ini juga berguna untuk memastikan bahwa latihan yang diberikan berlangsung dalam zona target detak jantung yang optimal, sehingga siswa dapat berlatih secara aman dan efektif sesuai dengan kapasitas masing-masing (Barbosa et al., 2019). Selain itu, pemahaman tentang denyut jantung maksimal membantu guru dalam menghindari risiko overtraining atau cedera, sekaligus mendukung prinsip pembelajaran berdiferensiasi dalam PJOK (WHO, 2020). Pendekatan pembelajaran berdiferensiasi ini semakin didukung oleh studi Martinez dan Chen (2023) yang menunjukkan bahwa data denyut jantung real-time memungkinkan penyesuaian intensitas latihan secara individual sehingga meningkatkan efektivitas pembelajaran.

Meskipun pengukuran denyut jantung bukanlah satu-satunya indikator kebugaran jasmani, data tersebut dapat memberikan gambaran awal yang penting mengenai efisiensi sistem kardiovaskular peserta didik. Evaluasi kebugaran yang lebih komprehensif seharusnya juga mempertimbangkan aspek lain seperti komposisi tubuh, kekuatan otot, dan kelenturan, namun dalam praktik pembelajaran di sekolah, pendekatan fisiologis sederhana ini tetap memiliki nilai praktis yang tinggi (Tomkinson et al., 2019). Selain itu, Raghuvver (2020) menegaskan bahwa pengukuran kebugaran kardiovaskular merupakan komponen kunci dalam program promosi kesehatan remaja di lingkungan sekolah.

Dalam upaya mengatasi permasalahan yang ditemukan, pembelajaran dirancang dengan menggunakan pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL) dan *Teaching at the Right Level* (TaRL) yang disesuaikan berdasarkan hasil pemantauan denyut jantung. Pembelajaran juga menerapkan prinsip pembelajaran berdiferensiasi untuk mengakomodasi keberagaman kondisi fisik siswa. Studi terbaru menunjukkan bahwa umpan balik denyut jantung real-time mampu meningkatkan kesadaran intensitas latihan dan motivasi belajar siswa, menjadikannya alat bantu yang efektif dalam pembelajaran kontekstual berbasis fisiologis (Steedman, 2023). Pendekatan serupa juga didukung oleh Santos dan Oliveira (2024) yang mengintegrasikan PjBL dengan monitoring fisiologis untuk meningkatkan partisipasi dan hasil belajar siswa dalam PJOK.

Artikel ini bertujuan untuk mendeskripsikan refleksi inovatif dalam praktik pembelajaran PJOK berbasis pengukuran denyut jantung siswa sebagai asesmen formatif sederhana yang informatif. Keunikan pendekatan ini terletak pada integrasi data fisiologis langsung dengan strategi pembelajaran kontekstual dan adaptif, yang berpihak pada kebutuhan dan kapasitas peserta didik secara individual.

B. METODE

1. Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus lapangan, yang bertujuan untuk menggambarkan respons fisiologis siswa berupa perubahan denyut jantung sebagai indikator kebugaran jasmani dalam proses pembelajaran PJOK berbasis pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL) dan *Teaching at the Right Level* (TaRL).

2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan hasil pemantauan denyut jantung siswa sebelum dan sesudah aktivitas pembelajaran PJOK serta mengevaluasi sejauh mana pendekatan pembelajaran kontekstual berbasis proyek dan level kemampuan dapat mendorong peningkatan efisiensi kardiovaskular siswa.

3. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh peserta didik SMA Negeri 1 Samarinda pada semester genap tahun ajaran 2024/2025. Sampel diambil secara purposif, yaitu siswa yang hadir secara konsisten dalam 10 pertemuan pembelajaran PJOK. Total terdapat 4 kelas X yang terlibat, dengan jumlah rata-rata siswa aktif sebanyak 25 siswa per kelas, sehingga total siswa yang diamati adalah ± 100 orang.

4. Subjek dan Objek Penelitian

Subjek penelitian adalah peserta didik yang menjadi bagian dari kelas eksperimen dan konsisten mengikuti kegiatan PJOK. Objek penelitian adalah denyut jantung siswa sebelum dan sesudah pembelajaran PJOK yang berlangsung selama 10 pertemuan.

5. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lapangan olahraga dan ruang kelas SMA Negeri 1 Samarinda selama bulan Februari hingga Mei 2025. Pengukuran dilakukan setiap kali pertemuan PJOK berlangsung secara terjadwal.

6. Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen

Data dikumpulkan dengan dua teknik utama, yaitu:

- Pengukuran denyut jantung (nadi): dilakukan sebelum dan sesudah kegiatan pembelajaran PJOK, menggunakan metode palpasi pada arteri radialis selama 15 detik yang dikalikan empat untuk mendapatkan denyut per menit.
- Lembar observasi fisik dan catatan lapangan: digunakan untuk mencatat dinamika keterlibatan siswa dan intensitas aktivitas jasmani.

Instrumen utama berupa lembar pencatatan denyut jantung yang dikembangkan berdasarkan indikator berikut:

- Denyut jantung saat istirahat (pra aktivitas)
- Denyut jantung setelah aktivitas (pasca aktivitas)
- Selisih perubahan (post - pre)

Kriteria interpretasi respons jantung terhadap aktivitas fisik diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. Standar zona target detak jantung dan pedoman intensitas latihan remaja

Rentang Kenaikan (bpm)	Interpretasi Respons Fisik
≤ 15 bpm	Sangat ringan
16–30 bpm	Ringan
31–45 bpm	Sedang
46–60 bpm	Berat
> 60 bpm	Sangat berat

7. Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan langkah sebagai berikut:

- Menghitung rerata denyut jantung sebelum dan sesudah pembelajaran tiap pertemuan.
- Menghitung selisih (Δ) antara denyut jantung awal dan akhir pertemuan.
- Menentukan kategori intensitas berdasarkan tabel klasifikasi di atas.
- Menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik tren perubahan per kelas.
- Menarik kesimpulan berdasarkan pola perubahan dan rentang yang muncul.

Rumus yang digunakan:

- Menghitung rata-rata per kelas:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

- Menghitung perubahan denyut jantung:

$$\Delta HR = HR_{post} - HR_{pre}$$

- 3) Klasifikasi tingkat intensitas berdasarkan ΔHR sesuai dengan tabel kategori

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi respons fisiologis siswa terhadap pembelajaran Pendidikan Jasmani yang dirancang menggunakan pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL) dan *Teaching at the Right Level* (TaRL). Indikator utama yang digunakan adalah perubahan denyut jantung (ΔHR) sebelum dan sesudah pembelajaran yang melibatkan empat kelas (X-1, X-2, X-3, dan X-4) dengan total 100 siswa sebagai sampel pada 10 pertemuan.

1. Rata-Rata Denyut Jantung Sebelum Dan Sesudah Pembelajaran

Rata-rata perubahan denyut jantung (Delta HR) digunakan untuk melihat seberapa besar respon fisiologis siswa terhadap aktivitas jasmani dalam pembelajaran PJOK yang dirancang dengan pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL) dan *Teaching at the Right Level* (TaRL).

Tabel 2. Rata-rata HR Sebelum, Sesudah, dan ΔHR Tiap Kelas

Kelas	HR Sebelum (Rata-rata)	HR Sesudah (Rata-rata)	ΔHR (Rata-rata)	Kategori	ΔHR (Min)	ΔHR (Maks)
X-1	89,2 bpm	132,7 bpm	41,9 bpm	Sedang- Berat	31 bpm	46 bpm
X-2	84,5 bpm	127,2 bpm	42,2 bpm		35 bpm	48 bpm
X-3	89,7 bpm	130,6 bpm	41,0 bpm		32 bpm	53 bpm
X-4	86,0 bpm	128,5 bpm	41,1 bpm		31 bpm	58 bpm

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh kelas mengalami peningkatan denyut jantung yang relatif seragam selama pembelajaran, dengan rata-rata ΔHR berada pada kisaran 41–42 bpm. Tidak ada kelas yang menunjukkan zona terlalu ringan (<30 bpm) atau terlalu berat (>60 bpm) secara konsisten. Semua kelas menunjukkan zona latihan ideal (31-45 bpm) bahkan mendekati batas, yang artinya pembelajaran PJOK cukup menantang dan efektif secara fisiologis tanpa masuk ke zona kelelahan ekstrem. Data ini mencerminkan respons jantung yang positif dan adaptif, yang berarti program pembelajaran berbasis PjBL + TaRL berhasil meningkatkan intensitas aktivitas fisik secara aman.

Berdasarkan literatur, perubahan sebesar ini menunjukkan intensitas latihan fisik yang tergolong sedang hingga berat dan masih dalam zona latihan aman bagi remaja (Gomes et al., 2019). Zona ini merupakan zona latihan optimal bagi siswa untuk meningkatkan kebugaran kardiorespirasi tanpa menimbulkan risiko kelelahan berlebih. Seluruh kelas menunjukkan konsistensi dalam intensitas latihan, yang menandakan efektivitas desain pembelajaran dalam menjaga tuntutan fisik tetap sesuai.

2. Perbandingan Permulaan dan Akhir Pembelajaran

Untuk menilai adaptasi fisiologis yang terjadi selama 10 pertemuan, dilakukan analisis denyut jantung pada pertemuan pertama dan ke-10.

Tabel 3. Perbandingan HR pada Pertemuan Awal dan Akhir

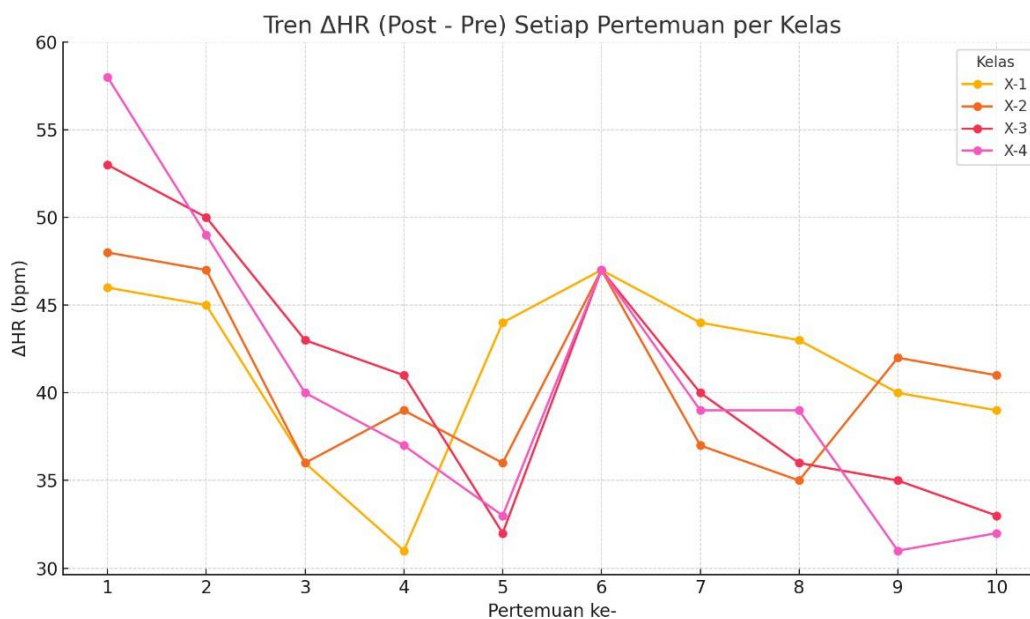
Kelas	HR Sebelum Awal	HR Sesudah Awal	HR Sebelum Akhir	HR Sesudah Akhir
X-1	95 bpm	141 bpm	82 bpm	121 bpm
X-2	83 bpm	131 bpm	82 bpm	123 bpm
X-3	88 bpm	140 bpm	92 bpm	125 bpm
X-4	83 bpm	141 bpm	85 bpm	117 bpm

Hasil yang tampak menunjukkan penurunan denyut jantung setelah pembelajaran secara signifikan dan konsisten di seluruh kelas. Seperti yang terlihat pada kelas X-4 (141 bpm à 117

bpm) dan X-1 (141 bpm à 121 bpm). Penurunan ini menandakan adanya peningkatan efisiensi kerja jantung dan adaptasi terhadap aktivitas jasmani. Sistem kardiovaskular siswa menjadi lebih efisien dalam merespons latihan, yang merupakan indikator positif peningkatan kebugaran jasmani (Shephard & Balady, 2020).

Sementara itu, denyut jantung sebelum pembelajaran juga menunjukkan kecenderungan menurun atau stabil, terutama di kelas X-1 dan X-2. Hal ini dapat diartikan sebagai peningkatan resting heart rate recovery, di mana siswa memiliki denyut nadi istirahat yang lebih rendah akibat peningkatan adaptasi fisiologis dari waktu ke waktu sehingga mengindikasikan peningkatan kondisi kebugaran istirahat (Buchheit et al., 2017). Meskipun ada sedikit variasi pada HR sebelum aktivitas, terutama di kelas X-3 dan X-4, keseluruhan data memperkuat kesimpulan bahwa siswa mengalami peningkatan daya tahan jantung-paru dan kapasitas pemulihan tubuh yang lebih baik dari waktu ke waktu.

3. Tren ΔHR Setiap Pertemuan Per Kelas



Gambar 1. Tren Rata-rata ΔHR Setiap Pertemuan per Kelas

Secara umum, seluruh kelas menunjukkan penurunan bertahap dalam tren ΔHR dari pertemuan awal (46-58 bpm) hingga pertemuan akhir (30-40 bpm). ΔHR yang tinggi diawal menunjukkan bahwa siswa masih belum terbiasa dengan aktivitas fisik dan membuat jantung bekerja lebih keras. Penurunan bertahap dalam tren ini menggambarkan adanya peningkatan kapasitas pemulihan siswa terhadap aktivitas jasmani dan beban kerja jantung terhadap latihan semakin ringan, walaupun intensitas latihan tidak diturunkan. Ini menunjukkan peningkatan efisiensi sistem kardipulmoner siswa sebagai bentuk indikator positif kebugaran yang disebabkan karena adanya adaptasi fisiologis.

Namun, terdapat anomali tren yang sama pada pertemuan ke-6, dimana terjadi lonjakan ΔHR yang cukup signifikan di semua kelas. Hal ini dikaitkan dengan dua faktor. Pertama, pada pertemuan ke-6 materi pembelajaran mengalami peningkatan intensitas dan tantangan, dengan kegiatan yang lebih kompetitif dan memerlukan kerja sama kelompok secara dinamis. Kedua, pertemuan ini berlangsung setelah masa jeda pembelajaran selama kurang lebih tiga minggu akibat pelaksanaan Pesantren Ramadan dan libur Idulfitri. Jeda latihan ini dapat menyebabkan deconditioning atau penurunan adaptasi fisiologis sementara, yang wajar terjadi dalam konteks latihan jasmani (Mujika & Padilla, 2000).

4. Pembahasan

Temuan ini memberikan kontribusi terhadap penguatan pendekatan PJOK berbasis data, yakni menunjukkan bahwa pengukuran denyut jantung yang sederhana dapat digunakan sebagai alat asesmen formatif untuk mengevaluasi kebugaran siswa secara efektif dalam konteks pembelajaran PJOK. Penggunaan strategi pembelajaran PJOK berbasis *Project-Based Learning* (PjBL) dan *Teaching at the Right Level* (TaRL) mampu memfasilitasi peningkatan adaptasi fisiologis siswa. Pola respons fisiologis yang relatif seragam antarkelas, serta tren penurunan denyut jantung dari pertemuan ke pertemuan, menunjukkan adanya kemajuan dalam kebugaran kardiorespirasi siswa yang terjadi secara bertahap namun konsisten.

Penurunan rata-rata denyut jantung pasca-pembelajaran mencerminkan peningkatan kapasitas tubuh dalam mengelola beban fisik secara lebih efisien, yang berhubungan langsung dengan sistem kerja jantung dan paru yang semakin optimal. Menurut hasil kajian oleh Mendola (2025), efisiensi kardiovaskular pada remaja dapat dimonitor melalui respons denyut jantung terhadap latihan, dan penurunan denyut jantung setelah aktivitas fisik secara berulang merupakan indikator penting peningkatan *cardiorespiratory fitness*. Artinya, siswa mampu memenuhi tuntutan fisik dari pembelajaran PJOK tanpa memerlukan lonjakan beban kerja jantung yang ekstrem.

Konsistensi perubahan denyut jantung dalam zona latihan moderat juga memperkuat efektivitas desain pembelajaran yang digunakan. Zona ini dikenal sebagai zona optimal untuk pelatihan kebugaran jasmani siswa sekolah menengah, karena tidak hanya mendorong peningkatan fisik, tetapi juga menghindari risiko kelelahan dan cedera (Faigenbaum et al., 2020). Penelitian ini menunjukkan bahwa strategi pengelompokan berdasarkan kemampuan (prinsip TaRL) dan penyusunan tugas berbasis proyek (PjBL) tidak hanya berdampak pada aspek kognitif dan sosial siswa, tetapi juga memberikan manfaat fisiologis yang terukur.

Variasi tren pada pertemuan ke-6 mencerminkan dinamika fisiologis yang sangat wajar dalam konteks program latihan atau pembelajaran jasmani jangka panjang. Sebuah studi oleh Silva et al. (2022) menunjukkan bahwa jeda aktivitas fisik selama lebih dari dua minggu dapat menurunkan kapasitas aerobik dan memperbesar beban kerja kardiovaskular saat aktivitas fisik dimulai kembali. Oleh karena itu, lonjakan respons denyut jantung yang ditemukan setelah masa libur dapat dijelaskan melalui fenomena detraining jangka pendek. Perlunya guru PJOK memperhatikan konsistensi ritme pembelajaran, terutama setelah jeda panjang. Pengelolaan intensitas secara bertahap setelah libur panjang menjadi langkah krusial untuk menghindari stres fisiologis yang berlebihan pada siswa. Meningkatnya tantangan dan intensitas materi pada pertemuan ke-6 turut berkontribusi terhadap peningkatan kerja jantung, terutama karena pembelajaran dirancang lebih kompetitif dan mengarah pada peningkatan aktivitas kelompok yang memerlukan keterlibatan fisik intensif.

Keterlibatan siswa secara aktif dalam pembelajaran yang berorientasi pada penyelesaian tugas proyek juga dapat menjadi salah satu faktor pendorong peningkatan motivasi intrinsik dalam berolahraga (Pennington & Kulinna, 2020). Meski motivasi tidak diukur secara eksplisit dalam studi ini, efisiensi denyut jantung yang meningkat dan keterlibatan siswa selama pembelajaran menunjukkan keterhubungan antara motivasi dan kebugaran. Artinya, ketika siswa merasa tertantang secara positif dalam pembelajaran jasmani, respons fisiologis mereka pun ikut menunjukkan peningkatan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa pembelajaran PJOK berbasis pendekatan aktif dan adaptif bukan hanya berdampak pada penguasaan keterampilan gerak, tetapi juga memperkuat dimensi kesehatan jantung dan paru siswa. Hal ini sejalan dengan tuntutan kurikulum merdeka yang mengedepankan pembelajaran bermakna dan berpusat pada murid (Kemendikbudristek, 2022). Oleh karena itu, integrasi instrumen pengukuran sederhana seperti denyut jantung dapat menjadi strategi asesmen formatif yang mendukung refleksi guru dan perbaikan pembelajaran PJOK secara berkelanjutan. Hasil ini juga dapat mendorong

kebijakan sekolah dalam mendukung pembelajaran PJOK yang berbasis bukti (*Evidence-Based Teaching*) (Casey dkk., 2021).

5. Penguatan Dari Data Lapangan

Untuk mendukung temuan kuantitatif, penulis juga mencatat respon siswa melalui pengamatan langsung dan wawancara informal. Salah satu siswa dari kelas X-2 menyatakan:

P : Bagaimana pendapatmu setelah beberapa minggu mengikuti PJOK dengan model yang berbeda ini?

R1 : Dulu saya gampang capek dan suka males olahraga. Sekarang lebih semangat karena kegiatan kelompok dan mainannya banyak. Jantung saya juga nggak terlalu berdebar kayak dulu.

Dialog singkat ini memperkuat bahwa perubahan fisiologis juga diiringi oleh perubahan persepsi dan pengalaman belajar siswa.

D. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran PJOK yang dirancang menggunakan pendekatan Project-Based Learning (PjBL) dan Teaching at the Right Level (TaRL) secara efektif mendorong peningkatan respons fisiologis siswa. Hal ini tercermin dari perubahan denyut jantung selama dan setelah pembelajaran yang konsisten berada dalam zona latihan moderat yang aman dan efisien. Tren penurunan denyut jantung dari pertemuan ke pertemuan juga mengindikasikan adanya peningkatan adaptasi kebugaran kardiorespirasi secara bertahap. Dengan demikian, pengukuran denyut jantung terbukti dapat digunakan sebagai alat asesmen formatif sederhana untuk mengevaluasi efektivitas pembelajaran PJOK secara langsung dan obyektif.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan kepada guru PJOK untuk mulai mengintegrasikan asesmen fisiologis berbasis data, seperti denyut jantung, dalam perencanaan dan evaluasi pembelajaran secara objektif mengenai kebugaran siswa. Strategi PjBL dan TaRL terbukti dapat diterapkan untuk menciptakan pembelajaran yang adaptif, menantang, namun tetap aman secara fisiologis. Sekolah diharapkan dapat mendukung pelaksanaan asesmen semacam ini dengan menyediakan perangkat yang diperlukan dan memberi ruang inovatif bagi guru. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian serupa dapat dilakukan dengan data individu, durasi lebih panjang, serta analisis psikososial terhadap aspek motivasi dan kesejahteraan siswa guna menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dampak pembelajaran PJOK yang adaptif dan berbasis bukti.

REFERENSI

- Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C., & Silva, A. J. (2019). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(2), 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.012>
- Bjelica, B., Milanović, L., Aksović, N., Zelenović, M., & Božić, D. (2020). Effects of physical activity to cardiorespiratory changes. *Turkish Journal of Kinesiology*, 6(4), 164-174. <https://doi.org/10.31459/turkjin.832955>
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2017). Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *International Journal of Sports Medicine*, 31(10), 709– 716. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1267945>
- Casey, A., Goodyear, V.A., & Armour, K.M. (2021). Models-based practice in physical education: A reflective guide for teachers. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429319259>

- Catai, A. M., Pastre, C. M., de Godoy, M. F., da Silva, E., de Medeiros Takahashi, A. C., & Vanderlei, L. C. M. (2020). Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian journal of physical therapy*, 24(2), 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.02.006>.
- Cunningham-Rose, C., Reilly, J. J., Johnston, D. W., & Yates, L. (2024). Physical fitness and academic performance in school-aged children: A systematic review. *Preventive Medicine Reports*, 38, 102312. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2024.102312>
- Dormal, V., Vermeulen, N., & Mejias, S. (2021). Is heart rate variability biofeedback useful in children and adolescents? A systematic review. *Journal of child psychology and psychiatry*, 62(12), 1379- 1390. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13463>
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J., & Myer, G. D. (2020). Citius, altius, fortius: beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(1), 1–7. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102002>
- Gomes, T. N., Dos Santos, F. K., Pereira, S., & Malina, R. M. (2019). Physical activity and health-related physical fitness in youth: A 2-year longitudinal study. *Pediatric Exercise Science*, 31(2), 194–201. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0112>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Panduan pembelajaran dan asesmen pada Kurikulum Merdeka*. Jakarta: Kemendikbudristek. <https://kurikulum.kemdikbud.go.id>
- Martinez, R., & Chen, J. (2023). Adaptive physical education strategies using real-time physiological feedback. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(1), 45-59.
- Mendola, N. (2025). Exercise Evolved: Exciting New Updates in ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 29(2), 44-47. <https://doi.org/10.1249/FIT.0000000000001036>
- Mujika, I., & Padilla, S. (2000). Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: Short term insufficient training stimulus. *Sports Medicine*, 30(2), 79–87. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030020-00002>
- Pennington, T. R., & Kulinna, P. H. (2020). Developing motivation and competence through PBL in physical education teacher education. *Journal of Teaching in Physical Education*, 39(4), 492–501. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2019-0034>
- Pindus, D. M., Lucas, S. J., Blain, R. J., Coombes, J. S., & Dempsey, J. A. (2018). Cardiorespiratory fitness and health: A pediatric perspective. *Sports Medicine*, 48(6), 1267–1284. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0883-9>
- Raghuveer, G., Hartz, J., Lubans, D. R., Takken, T., Wiltz, J. L., Mietus-Snyder, M., & American Heart Association Young Hearts Athero, Hypertension and Obesity in the Young Committee of the Council on Lifelong Congenital Heart Disease and Heart Health in the Young. (2020). Cardiorespiratory fitness in youth: an important marker of health: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 142(7), e101-e118. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000866>.
- Shephard, R. J., & Balady, G. J. (2020). Exercise as cardiovascular therapy. *Circulation*, 107(1), e1– e11. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000048890.59383.8D>
- Santos, L., & Oliveira, P. (2024). Project-Based Learning and physiological monitoring: A new

- approach in physical education. *European Journal of Educational Research*, 13(3), 987-1001.
- Silva, J. R., Nassis, G. P., & Rebelo, A. (2022). Detaining the effects of training cessation and tapering on physical performance in team sports. *Sports Medicine*, 52(2), 225–237. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01566-y>
- Steedman, O. (2023). The Integration of Technology in Physical Education and Teacher Perceptions of the Effect on Participation of K-12 students (Master's thesis, SUNY Brockport, Department of Kinesiology, Sport Studies, and Physical Education). <http://scholarworks.uark.edu/etd/203>
- Stöckel, T., & Grimm, A. (2021). Physical activity, motor competence and cognitive development in childhood: A meta-analytic review. *Developmental Review*, 61, 100981. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2021.100981>
- Strath, S. J., Kaminsky, L. A., Ainsworth, B. E., Ekelund, U., Freedson, P. S., Gary, R. A., ... & Swartz, A. M. (2013). Guide to the assessment of physical activity: Clinical and research applications. *Circulation*, 128(20), 2259–2279. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000435708.67487.da>
- Tomkinson, G. R., Lang, J. J., Tremblay, M. S., & Dale, M. (2019). Temporal trends in cardiorespiratory fitness: A systematic review. *Sports Medicine*, 49(9), 1289–1301. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01168-1>
- World Health Organization. (2020). *Guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. Geneva: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>