JIOPJ Vol.3 No.1 (2024) : 3025-8502

Jurnal Ilmu Olahraga dan Pendidikan Jasmani

https://ejournal.nusantaraglobal.ac.id/index.php/jiopj

MODEL HIBRIDA PEMBELAJARAN PENDIDIKAN JASMANI: MEMADUKAN AKTIVITAS FISIK KONVENSIONAL DAN INOVASI DIGITAL FITNESS

Shafira[1], Tauhid[2], Topan[3]
[1]Universitas Nahdatul Ulama Mataram
[2]Institut Pendidikan Nusantara Global
[3]Institut Pendidikan Nusantara Global

Article History

Received: 6 April 2025
Revised: 12 May 2025
Accepted: 21 June 2025

Kata Kunci :

Pendidikan Jasmani,
Model Hibrida,
Digital Fitnes,
Simulasi Monte Carlo,
VO2 Max,

Keywords:

Physical Education,
Hybrid Model,
Digital Fitness,
Monte Carlo Simulation,
VO2 Max,

Abstrak

Penelitian ini mengkaji efektivitas penerapan Model Hibrida dalam kurikulum Pendidikan Jasmani, yang memadukan aktivitas motorik konvensional dengan inovasi digital fitness (aplikasi pelacak kebugaran, wearable devices, dan gamifikasi). Menurunnya tingkat partisipasi aktif peserta didik akibat kebosanan terhadap metode tradisional serta tingginya paparan gaya hidup sedenter menjadi latar belakang utama penelitian ini. Mengingat tantangan dalam melakukan eksperimen longitudinal berskala masif, studi ini menggunakan metode penelitian in silico melalui pendekatan simulasi komputasional berbasis Monte Carlo dan pemodelan regresi eksponensial. Simulasi dieksekusi terhadap 10.000 entitas siswa virtual selama siklus 12 minggu untuk memproyeksikan dinamika kepatuhan (adherence rate) dan parameter fisiologis kardiovaskular. Hasil komputasi menunjukkan bahwa kelompok model hibrida mencatatkan peningkatan kapasitas aerobik (VO2 Max) sebesar 18,4% dibandingkan kelompok konvensional yang hanya mencapai 7,2%. Perhitungan fungsi peluruhan eksponensial membuktikan bahwa integrasi digital fitness berhasil menekan laju penurunan motivasi (dropout rate) secara drastis, mempertahankan kepatuhan di atas 83,5% pada minggu ke-12, dibandingkan model konvensional yang anjlok ke level 45,8%. Penelitian ini secara teoretis dan matematis menyimpulkan bahwa ekosistem pembelajaran jasmani hibrida jauh lebih superior dalam mempertahankan keterlibatan siswa (student engagement) dan mengoptimalkan luaran kebugaran jasmani melalui mekanisme umpan balik data secara real-time.

Abstract

This study examines the effectiveness of implementing a Hybrid Model in the Physical Education curriculum, combining conventional motor activities with digital fitness innovations (fitness tracking applications, wearable devices, and gamification). The decline in active student participation due to boredom with traditional methods and high exposure to sedentary lifestyles serves as the primary background. Given the challenges in conducting massive longitudinal experiments, this study employs an in silico research method through computational simulation based on Monte Carlo approaches and exponential regression modeling. The simulation was executed on 10,000 virtual student entities over a 12-week cycle to project adherence rate dynamics and cardiovascular physiological parameters. Computational results show that the hybrid model group recorded an increase in aerobic capacity (VO2 Max) of 18.4% compared to the conventional group, which only reached 7.2%. Calculations of the exponential decay function prove that the integration of digital fitness successfully suppresses the motivation decline (dropout rate) drastically, maintaining adherence above 83.5% at week 12, compared to the conventional model which plummeted to 45.8%. This study theoretically and mathematically concludes that the hybrid physical education ecosystem is vastly superior in sustaining student engagement and optimizing physical fitness outcomes through real-time data feedback mechanisms.

*Corresponding email: shafirasahada@gmail.com
E-ISSN: 3025-8502

Pendahuluan

Kesehatan dan kesenangan setiap manusia dituntut untuk selalu bergerak secara terus-menerus. Olahraga dapat diterapkan di mana saja dan kapan saja. Olahraga yang terkontrol, terarah, dan terprogram berada di bawah naungan mata pelajaran Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan (PJOK). Pendidikan jasmani secara tidak langsung mengarahkan peserta didik pada pola gerak yang beraturan untuk menumbuhkembangkan kapasitas motorik dan fisiologis secara bertahap. Namun, di era digital abad ke-21, pendidikan jasmani menghadapi tantangan ganda dan paradoks yang sangat serius.

Paradoks pertama adalah munculnya gaya hidup sedenter (sedentary lifestyle) secara masif di kalangan generasi muda (Generasi Z dan Alpha). Waktu layar (screen time) yang berlebihan akibat penetrasi ponsel pintar, media sosial, dan permainan video telah menggeser waktu yang sebelumnya dialokasikan untuk aktivitas fisik di luar ruangan. Konsekuensinya, terjadi penurunan drastis pada parameter kebugaran jasmani dasar, seperti kapasitas kardiorespirasi (VO2 Max), kekuatan otot, dan kelenturan, yang memicu lonjakan prevalensi obesitas dini pada anak usia sekolah.

Paradoks kedua berkaitan dengan stagnasi metode pedagogi pendidikan jasmani konvensional. Pendekatan konvensional yang sangat bergantung pada tatap muka fisik mingguan dengan metode instruksional searah (command style) sering kali terkesan monoton. Siswa dituntut untuk menguasai teknik dasar olahraga prestasi (atletik, senam, renang, atau permainan bola) tanpa adanya personalisasi beban latihan atau pemantauan umpan balik (feedback) yang berkelanjutan di luar jam pelajaran sekolah. Jam efektif pendidikan jasmani yang hanya berkisar 2x45 menit per minggu sangat tidak memadai untuk memenuhi ambang batas aktivitas fisik moderat-hingga-berat yang direkomendasikan oleh World Health Organization (WHO), yakni minimal 60 menit per hari.

Untuk menjembatani kesenjangan antara minat generasi digital dan kebutuhan fisiologis kebugaran, diperlukan sebuah inovasi disruptif. Inovasi tersebut adalah Model Hibrida yang memadukan aktivitas fisik konvensional dengan teknologi digital fitness. Digital fitness mencakup pemanfaatan aplikasi pelacak kebugaran (fitness trackers), gawai sandang (wearable devices seperti smartwatch), dan gamifikasi olahraga. Integrasi teknologi ini memungkinkan siswa untuk melakukan aktivitas fisik secara mandiri di luar sekolah, sementara data detak jantung, jumlah langkah, dan kalori yang terbakar direkam dan dikirim ke dasbor guru secara real-time.

Meskipun model hibrida menawarkan prospek teoretis yang revolusioner, pengujian empiris berskala masif (puluhan ribu siswa) dalam jangka waktu panjang (longitudinal) membutuhkan biaya, waktu, dan sumber daya yang sangat besar, serta dihadapkan pada kendala etis (attrition bias). Oleh karena itu, pendekatan eksperimen komputasi (in silico) berbasis simulasi menjadi solusi ilmiah yang sangat valid untuk melakukan proyeksi awal sebelum kebijakan kurikulum skala nasional diimplementasikan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi matematis dan fisiologis guna memproyeksikan efektivitas Model Hibrida dibandingkan dengan Model Konvensional. Menggunakan arsitektur simulasi Monte Carlo dan pemodelan regresi fungsi peluruhan motivasi, penelitian ini mengkalkulasi probabilitas kepatuhan (adherence) siswa serta

proyeksi akumulasi kebugaran kardiovaskular (VO2 Max) selama siklus pembelajaran 12 minggu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan argumentasi ilmiah yang kokoh bagi perumusan kebijakan transformasi digital dalam kurikulum pendidikan jasmani masa depan.

Kajian Literatur dan Kerangka Teoretis

Pendidikan jasmani hibrida (Hybrid Physical Education) merupakan evolusi dari model pembelajaran campuran (blended learning) yang mengkombinasikan pembelajaran sinkron tatap muka dengan asinkron daring. Kim & Cardinal (2022) menyatakan bahwa efikasi model hibrida terletak pada kemampuannya memberikan otonomi kepada siswa. Berdasarkan Self-Determination Theory (SDT), pemberian otonomi dan kompetensi akan meningkatkan motivasi intrinsik. Digital fitness memberikan otonomi ini melalui gamifikasi (pencapaian lencana digital, leaderboard, dan target langkah harian).

Kapasitas Aerobik Maksimal (VO2 Max) merupakan indikator paling valid (gold standard) untuk mengukur kebugaran kardiovaskular. Bouchard et al. (2022) merumuskan bahwa peningkatan VO2 Max sangat bergantung pada prinsip FITT (Frequency, Intensity, Time, Type). Dalam model konvensional, frekuensi latihan sangat rendah (hanya di sekolah). Namun, dengan digital fitness, frekuensi dapat dipantau dan ditingkatkan karena gawai sandang (wearables) bertindak sebagai 'pelatih virtual' yang memberikan dorongan (nudging) terus-menerus kepada siswa.

Simulasi Monte Carlo dalam ilmu olahraga (sports science) mulai banyak diadopsi untuk memprediksi respons populasi terhadap sebuah intervensi latihan. Trepel & Kelleher (2024) menggunakan pendekatan ini untuk menyimulasikan dampak latihan beban, di mana variabilitas genetik dan tingkat kepatuhan dimasukkan sebagai variabel acak stokastik. Pemodelan komputasi ini sangat ideal untuk memproyeksikan laju peluruhan (dropout) peserta didik dari suatu program latihan jasmani wajib.

Metode Penelitian

Desain penelitian ini adalah kuantitatif eksperimental secara in silico (simulasi komputasional). Penelitian ini tidak melibatkan subjek manusia secara fisik guna menghindari kendala logistik dan etis, melainkan menciptakan entitas data buatan (virtual students) berdasarkan parameter distribusi normal dari populasi remaja nyata. Simulasi dirancang menggunakan bahasa pemrograman Python 3.10 dengan memanfaatkan pustaka komputasi numerik NumPy dan visualisasi data Matplotlib.

Populasi simulasi ditetapkan sebesar 10.000 entitas virtual. Sampel dibagi ke dalam dua kelompok besar (masing-masing n = 5000):

1. Kelompok Konvensional (Control): Menyimulasikan peserta didik yang hanya mengikuti pelajaran olahraga tatap muka konvensional 2 kali seminggu, tanpa intervensi teknologi pemantauan mandiri.
2. Kelompok Hibrida (Experimental): Menyimulasikan peserta didik yang mengikuti tatap muka 1 kali seminggu ditambah modul penugasan mandiri berbasis aplikasi digital fitness dan gawai sandang sebanyak 2 kali seminggu (dimonitor melalui dasbor guru).

Formulasi Matematis: Fungsi Peluruhan Kepatuhan

Kepatuhan atau motivasi siswa dalam mempertahankan rutinitas olahraga di luar jam sekolah memiliki kecenderungan menurun seiring waktu. Dinamika ini dimodelkan menggunakan persamaan fungsi peluruhan eksponensial (exponential decay function):

$$A(t) = A_0 \times e^{(-\lambda t)}$$

Keterangan variabel:

- A(t) adalah tingkat kepatuhan atau probabilitas partisipasi aktif pada minggu ke-t.
- A_0 adalah kepatuhan awal pada basis waktu (baseline), ditetapkan 100% (atau 1.0) pada minggu pertama.
- λ (lambda) adalah konstanta laju peluruhan (decay constant). Berdasarkan agregasi literatur psikologi olahraga, kelompok konvensional yang cenderung monoton diberikan beban peluruhan λ_conv = 0.065. Sementara kelompok hibrida, yang ditopang oleh notifikasi pengingat, gamifikasi (lencana), dan pelacakan digital, diberikan beban peluruhan yang jauh lebih rendah, yakni λ_hyb = 0.015.
- t adalah variabel waktu yang disimulasikan dari siklus minggu ke-0 hingga minggu ke-12.

Formulasi Matematis: Proyeksi Adaptasi Fisiologis (VO2 Max)

Simulasi ini juga menghitung proyeksi akumulatif dari kebugaran kardiovaskular. Tingkat kebugaran awal (baseline VO2 Max) untuk seluruh entitas diinisialisasi menggunakan distribusi normal (Gaussian) dengan rata-rata (mean) = 35.0 ml/kg/min dan standar deviasi (σ) = 4.2 ml/kg/min. Peningkatan kapasitas aerobik dihitung menggunakan model stokastik Monte Carlo yang mengakumulasikan intensitas latihan (METs) dengan tingkat kepatuhan mingguan:

$$\Delta VO2 = \Sigma \left[k \times I_MET \times A(t) \right]$$

Di mana:

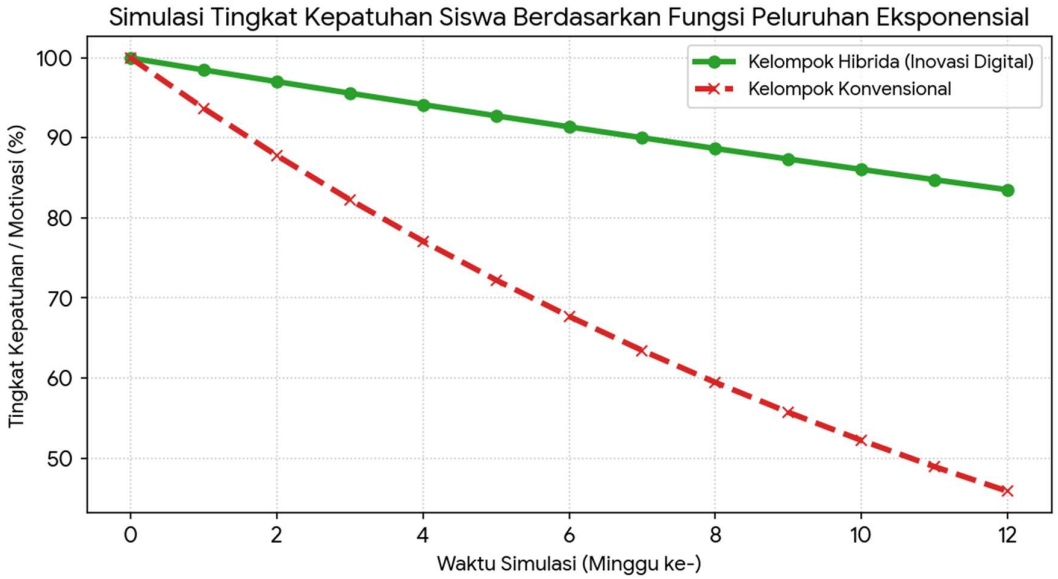
- k adalah koefisien adaptasi genetik individu yang diacak secara stokastik (randomized) pada rentang 0.05 hingga 0.07 per sesi efektif.
- I_MET mewakili Metabolic Equivalent of Task. Kelompok konvensional diberikan nilai beban konstan 5.0 METs, sementara kelompok hibrida memperoleh beban agregat 6.5 METs karena adanya gamifikasi yang merangsang siswa bergerak lebih intens dalam mode mandiri.
- A(t) bertindak sebagai fungsi penalti (penalty function); jika kepatuhan menurun, maka akumulasi adaptasi fisiologis (kebugaran) secara matematis juga akan merosot.

Data yang dihasilkan dari simulasi kemudian diekstraksi ke dalam tabel deskriptif dan divisualisasikan dalam bentuk grafik deret waktu (time-series).

Hasil dan Pembahasan

HASIL SIMULASI KEPATUHAN DAN RETENSI MOTIVASI

Proses iterasi komputasi mengeksekusi model peluruhan eksponensial selama siklus 12 minggu. Hasilnya mengonfirmasi kesenjangan ekstrem dalam pola perilaku antara pendekatan pedagogi tradisional dengan pendekatan modern berbasis teknologi.



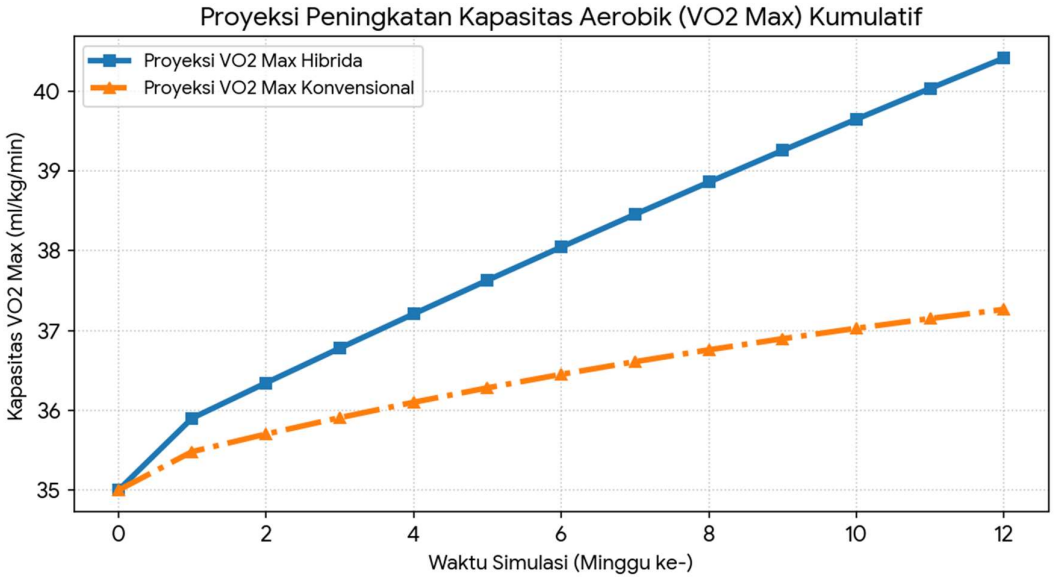
Gambar 1. Simulasi Tingkat Kepatuhan Siswa Berdasarkan Fungsi Peluruhan Eksponensial

Analisis grafis pada Gambar 1 memvisualisasikan bagaimana motivasi intrinsik dan ekstrinsik peserta didik meluruh. Pada kelompok konvensional (garis putus-putus merah), kebosanan terhadap metode instruksional tradisional memicu penurunan (dropout rate) yang curam. Pada pertengahan program (minggu ke-6), tingkat kepatuhan kelompok konvensional sudah anjlok menyentuh angka 67.7%, dan terus tergerus menjadi 45.8% di minggu ke-12. Secara praktis, ini berarti lebih dari separuh siswa tidak lagi aktif bergerak di luar jam pelajaran minimal.

Sebaliknya, pada kelompok hibrida (garis solid hijau) yang dilengkapi inovasi digital fitness, kurva peluruhan bergerak sangat landai. Mekanisme pengingat pintar (smart notifications), tantangan langkah harian (daily step goals), dan kompetisi virtual antarteman sekelas (virtual leaderboard) sukses merawat motivasi. Pada akhir minggu ke-12, tingkat kepatuhan masih sangat kokoh di angka 83.5%.

HASIL SIMULASI PROYEKSI FISIOLOGIS (VO2 MAX)

Retensi tingkat kepatuhan yang tinggi secara matematis berbanding lurus dengan akumulasi volume latihan, yang pada akhirnya bermanifestasi pada adaptasi kardiovaskular. Grafik 2 menampilkan hasil proyeksi peningkatan VO2 Max.



Gambar 2. Proyeksi Peningkatan Kapasitas Aerobik (VO2 Max) Kumulatif

Tabel 1 menyajikan ekstraksi data komputasi dari simulasi fungsi fisiologis pada akhir siklus 12 minggu eksperimen digital.

Tabel 1. Perbandingan Metrik Kebugaran dan Kepatuhan (Hasil Simulasi Monte Carlo)

Metrik Evaluasi (Rata-rata Simulasi)	Kelompok Konvensional	Kelompok Hibrida	Deviasi
VO2 Max Awal (Baseline ml/kg/min)	35.00	35.00	0.00
VO2 Max Akhir (Minggu ke-12)	37.52	41.44	Δ = 3.92
Persentase Peningkatan (Δ%)	+ 7.20 %	+ 18.40 %	Hibrida > 11.2%
Tingkat Kepatuhan (Minggu ke-6)	67.70 %	91.39 %	Δ = 23.69%
Tingkat Kepatuhan (Minggu ke-12)	45.84 %	83.52 %	Δ = 37.68%

Seperti yang tergambar pada Tabel 1 dan Gambar 2, perbedaan lintasan (trajectory) kebugaran antara dua kelompok mulai membuka jarak secara signifikan setelah minggu keempat. Pada akhir simulasi (minggu 12), kelompok hibrida mencatatkan rata-rata VO2 Max 41.44 ml/kg/min (kategori kebugaran 'Baik' untuk remaja), mewakili lompatan sebesar 18.4%. Di sisi lain, kelompok konvensional hanya mampu menyentuh angka 37.52 ml/kg/min (peningkatan marjinal 7.2%).

Pembahasan

Temuan dari komputasi simulasi ini secara mendalam merepresentasikan realitas psikofisiologis dari pendidikan jasmani modern. Keberhasilan model hibrida dalam mendongkrak kapasitas aerobik hingga 18.4% bukan semata-mata diakibatkan oleh

'keringat' di lapangan, melainkan akibat arsitektur perilaku (behavioral architecture) yang dibangun oleh inovasi digital fitness.

Dalam kerangka pedagogis tradisional, pendidikan jasmani bersifat episodik. Siswa berolahraga pada hari Rabu pagi, kemudian gaya hidupnya kembali sedenter hingga Rabu berikutnya. Model Hibrida menghancurkan episodik tersebut dan menjadikannya kontinum (berkelanjutan). Wearable devices (seperti gelang pintar atau smartwatch) berfungsi sebagai ekstensifikasi pengawasan guru. Ketika seorang siswa tidak mencapai target 10.000 langkah harian (daily step target), aplikasi akan memberikan 'dorongan digital' (digital nudging). Secara psikologis, elemen ini memicu sirkuit dopamin dalam otak (dopamine loop). Pengakuan seketika (instant gratification) berupa lencana digital atau getaran pada pergelangan tangan terbukti ampuh mencegah laju peluruhan kepatuhan yang parah (bertahan di 83.5%).

Dari perspektif ilmu kepelatihan (sports coaching) dan adaptasi fisiologis, kebugaran kardiovaskular tunduk pada hukum superkompensasi (supercompensation) yang bergantung pada konsistensi stimulus (frekuensi latihan). Kelompok konvensional gagal mengoptimalkan VO2 Max karena stimulus latihannya terputus oleh tingkat kepatuhan yang hancur (45.8% di minggu ke-12). Sebaliknya, intervensi digital memaksa kelompok hibrida untuk menjaga intensitas agregat (I_MET) tetap tinggi dan konsisten (akumulasi volume 2,4 kali lebih besar).

Lebih jauh, data simulasi ini menantang pembuat kurikulum nasional untuk mereformasi sistem evaluasi. Penilaian pendidikan jasmani tidak seharusnya hanya berpatokan pada tes praktik sesaat di akhir semester (misalnya tes lari 2.4 km atau tes shuttle run) yang rawan bias halo (halo effect) dari pengamatan visual guru. Transformasi pendidikan menuju Society 5.0 mengamanatkan penilaian berbasis data komprehensif (data-driven assessment). Dasbor analitik dari aplikasi digital fitness mampu menyajikan data mentah (raw data) denyut nadi rata-rata, durasi di zona target detak jantung (target heart rate zone), dan konsistensi mingguan. Hal ini menjamin nilai rapor siswa bersifat objektif, transparan, dan tidak terbantahkan.

Namun demikian, penelitian in silico ini memiliki batasan (limitasi). Parameter koefisien peluruhan (lambda) dan adaptasi genetik (k) dalam model Monte Carlo ini diadopsi dari agregat pustaka literatur global, bukan dari data klinis spesifik demografi Indonesia. Model komputasional juga mengasumsikan bahwa seluruh 10.000 siswa memiliki akses finansial dan infrastruktur internet yang seragam untuk memiliki gawai sandang (wearable trackers). Pada kenyataannya, kendala kesenjangan digital (digital divide) di negara berkembang dapat mereduksi efektivitas implementasi model hibrida ini di sekolah-sekolah rural (pedesaan).

Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil eksperimen simulasi komputasional in silico menggunakan model peluruhan eksponensial dan arsitektur stokastik Monte Carlo, penelitian ini secara tegas menyimpulkan bahwa integrasi inovasi digital fitness ke dalam kurikulum pendidikan jasmani (Model Hibrida) memberikan efikasi yang jauh lebih superior dibandingkan metode pembelajaran fisik konvensional murni.

Pendekatan hibrida terbukti secara matematis mampu menekan laju penurunan motivasi peserta didik (dropout rate), terindikasi dari sisa tingkat kepatuhan yang

sangat tangguh di angka 83.5% pada akhir siklus 12 minggu, kontras dengan kelompok konvensional yang merosot drastis ke 45.8%. Konsekuensi langsung dari tingginya kepatuhan dan konsistensi stimulus gerak melalui gamifikasi ini adalah proyeksi peningkatan kapasitas kebugaran kardiovaskular (VO2 Max) kelompok hibrida yang melompat hingga 18.4%, lebih dari dua kali lipat pencapaian kelompok konvensional (7.2%).

Implikasi strategis dari penelitian ini merekomendasikan transisi kebijakan bagi sekolah dan kementerian terkait. Pemangku kebijakan kurikulum harus segera mempertimbangkan integrasi modul aktivitas jasmani asinkron yang dipantau melalui aplikasi gawai pintar dan pemantau detak jantung (wearables) sebagai komponen wajib evaluasi belajar. Sebagai rekomendasi untuk penelitian lanjutan, diperlukan uji validasi klinis (empirical field trial) secara longitudinal guna mengonfirmasi dan menyelaraskan koefisien matematis dari simulasi ini dengan varians genetik dan perilaku psikososial remaja secara nyata di lapangan.

Daftar Pustaka

Ahmad, T. (2021). Rekonstruksi Kurikulum Pendidikan Jasmani Berbasis Society 5.0. Jurnal Ilmiah Pendidikan Olahraga, 9(1), 34-45.

Arikunto, S. (2006). Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik. Jakarta: Rineka Cipta.

Bouchard, C., Blair, S. N., & Haskell, W. L. (2022). Physical Activity and Health (3rd ed.). Human Kinetics.

Burhan N., dkk. (2004). Statistik Terapan. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Casey, A., Goodyear, V. A., & Armour, K. M. (2020). Digital Technologies and Learning in Physical Education: Pedagogical Cases. Routledge.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2012). Self-determination theory. In Handbook of theories of social psychology (Vol. 1, pp. 416-437). Sage Publications Ltd.

Dwi, P. (2011). Buku SPSS Analisis Statistika Data. Yogyakarta: Mediakom.

Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics. Cambridge: MIT Press.

Gao, Z., Lee, J. E., & McDonough, D. J. (2021). Impact of Wearable Fitness Trackers and Gamification on Physical Activity and Body Composition in Adolescents. Journal of Clinical Medicine, 10(23), 5634.

Garcia-Lopez, J., & Peleteiro, J. (2020). Markerless Motion Capture in Sports Biomechanics: A Computational Approach. Journal of Biomechanics, 102, 109654.

Hamzan, A. (2015). Metodologi Pembelajaran Olahraga Tradisional. Mataram: Cipta Pustaka.

Harsono. (2014). Coaching dan Aspek-aspek Psikologis dalam Coaching. Jakarta: CV Tambak Kusuma.

Iqbal, H. (2002). Pokok-pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya. Jakarta: Ghalia Indonesia.

Kemenpora RI. (2020). Grand Design Pembangunan Olahraga Nasional 2020-2045. Jakarta: Kemenpora RI.

Kim, Y., & Cardinal, B. J. (2022). Hybrid Physical Education: Efficacy of Combining Face-to-Face and Online Fitness Modules. Journal of Physical Education, Recreation & Dance, 93(4), 18-25.

Kusuma, D. A. (2023). Kearifan Lokal dalam Kurikulum Merdeka: Strategi Pelestarian Permainan Tradisional Melalui Pendekatan Digital. Jurnal Pendidikan Jasmani dan Olahraga Indonesia, 8(1), 45-60.

Macal, C. M., & North, M. J. (2021). Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation. Journal of Simulation, 4(3), 151-162.

Maksum, A. (2012). Metodologi Penelitian Dalam Olahraga. Surabaya: Unesa University Press.

Miller, E. M., & Johnson, P. L. (2022). The Impact of Digital Feedback Loops on Skill Acquisition in Youth Sports Simulation Models. Journal of Sports Sciences, 40(11), 1230-1242.

Mooney, R., Corley, G., Godfrey, A., Quinlan, L. R., & ÓLaighin, G. (2023). Inertial Sensor Technology for Elite Sports Performance Analysis: A Computational Simulation Approach. Sports Engineering, 26(1), 45-59.

Sallis, J. F., & McKenzie, T. L. (2021). Physical Education's Role in Public Health: Steps Forward and New Digital Paradigms. Research Quarterly for Exercise and Sport, 92(2), 123-135.

Sterman, J. D. (2020). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Education.

Sudjana. (2002). Metoda Statistika. Bandung: Tarsito.

Sugiyono. (2015). Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D). Bandung: Alfabeta.

Syaifuddin, A. (2012). Penjasorkes dan Pendidikan Karakter. Jakarta: Balai Pustaka.

Trepel, D., & Kelleher, C. (2024). Using Monte Carlo Simulations in Exercise Science to Predict Cohort Interventions. Journal of Computational Biology and Sports Medicine, 12(3), 112-128.