

## **Pengembangan Modul Pembelajaran Berbasis Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) untuk Meningkatkan Keterampilan Teknik Tendangan Sepak Bola Mahasiswa Pendidikan Jasmani**

Yogi Ferdy Irawan\*

*Universitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen, Kebumen, Indonesia*

yogiferdian@umnu.ac.id\*

| Received: 29/11/2025 | Revised: 20/12/2025 | Accepted: 31/12/2025 |

*Copyright©2025 by authors. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons*

### **Abstrak**

Perkembangan teknologi sensor dalam dunia pendidikan olahraga membuka peluang baru untuk meningkatkan kualitas pembelajaran teknik keterampilan motorik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan modul pembelajaran berbasis sensor Inertial Measurement Unit (IMU) untuk meningkatkan keterampilan teknik tendangan sepak bola pada mahasiswa Pendidikan Jasmani. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) yang dilaksanakan pada bulan Januari sampai Maret 2025 di Program Studi Pendidikan Olahraga Universitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen. Subjek penelitian terdiri dari 40 mahasiswa semester 4 yang mengambil mata kuliah Sepak Bola, dibagi menjadi kelompok eksperimen ( $n=20$ ) dan kelompok kontrol ( $n=20$ ). Instrumen penelitian meliputi sensor IMU MPU-6050, aplikasi mobile berbasis Android untuk visualisasi data, rubrik penilaian teknik tendangan, dan kuesioner respon pengguna. Teknik analisis data menggunakan uji-t berpasangan dan uji-t independen untuk membandingkan peningkatan keterampilan, serta analisis deskriptif untuk respon pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul pembelajaran berbasis sensor IMU efektif meningkatkan keterampilan teknik tendangan sepak bola mahasiswa. Kelompok eksperimen mengalami peningkatan skor rata-rata dari 65,4 menjadi 82,7 ( $p<0,001$ ), sedangkan kelompok kontrol meningkat dari 64,8 menjadi 71,3 ( $p<0,05$ ). Terdapat perbedaan signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol pada post-test ( $p<0,001$ ) dengan *effect size* Cohen's  $d=2,18$  (kategori sangat besar). Validasi ahli menunjukkan modul pembelajaran memperoleh skor 4,6 dari 5,0 (kategori sangat layak). Respon mahasiswa menunjukkan tingkat kepuasan 89,2% dengan kategori sangat puas.

Kata kunci: sensor IMU, pembelajaran sepak bola, teknik tendangan, pedagogi olahraga, teknologi Pendidikan

### **Abstract**

*The development of sensor technology in sports education opens new opportunities to improve the quality of learning motor skills techniques. This study aims to develop a learning module based on Inertial Measurement Unit (IMU) sensors to improve football kicking technique skills among Physical Education students. This research uses the Research and Development (R&D) method with the ADDIE model conducted from January to March 2025 at the Physical Education, Health and Recreation Study Program, Ma'arif Nahdlatul Ulama University Kebumen. The research subjects consisted of 40 fourth-semester students divided into an experimental group (n=20) and a control group (n=20). Research instruments included MPU-6050 IMU sensors, an Android-based mobile application, kicking technique assessment rubrics, and user response questionnaires. The results showed that the IMU sensor-based learning module effectively improved students' football kicking technique skills. The experimental group experienced an increase in average scores from 65.4 to 82.7 ( $p < 0.001$ ), while the control group increased from 64.8 to 71.3 ( $p < 0.05$ ). There was a significant difference between groups in the post-test ( $p < 0.001$ ) with Cohen's  $d$  effect size of 2.18 (very large category). Expert validation showed that the learning module obtained a score of 4.6 out of 5.0 (very feasible category). Student responses showed a satisfaction level of 89.2%.*

*Keywords: IMU sensor, football learning, kicking technique, sports pedagogy, educational technology*

## **Pendahuluan**

Sepak bola merupakan cabang olahraga yang sangat populer di Indonesia dan menjadi salah satu mata kuliah wajib dalam kurikulum Program Studi Pendidikan Olahraga. Penguasaan teknik dasar sepak bola, khususnya teknik tendangan, menjadi fondasi penting bagi mahasiswa calon guru pendidikan olahraga untuk dapat mengajarkan materi sepak bola dengan baik kepada peserta didiknya kelak. Namun demikian, pembelajaran teknik tendangan sepak bola di perguruan tinggi masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam hal pemberian *feedback* yang objektif dan terukur kepada mahasiswa.

Pembelajaran teknik keterampilan motorik dalam olahraga, khususnya sepak bola, memerlukan pendekatan pedagogi yang tepat agar mahasiswa dapat memahami dan menguasai gerakan dengan benar. Penelitian menunjukkan bahwa *feedback* yang tepat waktu dan spesifik merupakan salah satu faktor kunci dalam pembelajaran keterampilan motorik kompleks. Namun dalam praktiknya, dosen atau pelatih seringkali mengalami kesulitan dalam memberikan *feedback* yang objektif karena keterbatasan indra manusia dalam mengamati gerakan yang berlangsung sangat cepat dan kompleks.

Perkembangan teknologi sensor dalam beberapa tahun terakhir membuka peluang baru untuk meningkatkan kualitas pembelajaran keterampilan teknik olahraga. *Sensor Inertial Measurement Unit* (IMU) merupakan teknologi yang dapat mengukur parameter biomekanik gerakan secara dengan akurasi tinggi. Sensor IMU terdiri dari akselerometer, giroskop, dan

magnetometer yang bekerja secara terintegrasi untuk mengukur akselerasi linear, kecepatan sudut, dan orientasi objek dalam ruang tiga dimensi.

Beberapa penelitian internasional telah menunjukkan potensi sensor IMU dalam analisis gerakan olahraga. Penelitian yang dilakukan oleh Wilmes dan rekan-rekan pada tahun 2020 menunjukkan bahwa sensor IMU dapat digunakan untuk melacak gerakan pemain sepak bola dengan akurasi yang tinggi dan memberikan data kuantitatif tentang intensitas gerakan. Studi lain yang dilakukan pada tahun 2021 menemukan bahwa penggunaan sensor IMU yang dipasang pada kaki pemain sepak bola dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis tendangan dengan akurasi hingga 87% menggunakan algoritma *deep learning*.

Konteks pendidikan, integrasi teknologi sensor ke dalam pembelajaran keterampilan motorik sejalan dengan paradigma pembelajaran konstruktivisme yang menekankan pada peran aktif peserta didik dalam membangun pengetahuannya sendiri. Sensor IMU dapat memberikan *feedback* objektif yang memungkinkan mahasiswa untuk melakukan refleksi dan perbaikan teknik secara mandiri. Hal ini sesuai dengan konsep *self-regulated learning* yang menjadi salah satu tujuan penting dalam pendidikan tinggi.

Berdasarkan analisis kebutuhan yang dilakukan di Program Studi Pendidikan Olahraga Universitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen, ditemukan bahwa 78% mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami aspek biomekanik teknik tendangan sepak bola, dan 85% mahasiswa menyatakan memerlukan *feedback* yang lebih spesifik dan objektif untuk memperbaiki teknik mereka. Observasi lapangan juga menunjukkan bahwa dosen pengampu mata kuliah sepak bola menghadapi keterbatasan dalam memberikan *feedback* individual kepada setiap mahasiswa karena jumlah mahasiswa yang cukup banyak dalam satu kelas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul pembelajaran berbasis sensor IMU yang dapat diintegrasikan dalam mata kuliah sepak bola di perguruan tinggi. Modul yang dikembangkan dirancang untuk menjadi mudah digunakan, terjangkau dari segi biaya, dan efektif dalam meningkatkan keterampilan teknik tendangan mahasiswa. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Bagaimana mengembangkan modul pembelajaran berbasis sensor IMU untuk pembelajaran teknik tendangan sepak bola yang valid dan layak digunakan?, (2) Bagaimana efektivitas modul pembelajaran berbasis sensor IMU dalam meningkatkan keterampilan teknik tendangan sepak bola mahasiswa?, dan (3) Bagaimana respon mahasiswa terhadap penggunaan modul pembelajaran berbasis sensor IMU?

## **Metodologi Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang terdiri dari lima tahapan: Analysis (analisis), Design (desain), Development (pengembangan), Implementation (implementasi), dan Evaluation (evaluasi). Model ADDIE dipilih karena fleksibilitas dan sistematikanya yang sesuai untuk mengembangkan produk pembelajaran berbasis teknologi.

## **Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Program Studi Pendidikan Olahraga, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen. Penelitian dilakukan pada

bulan Januari sampai Maret 2025, yang terdiri dari tahap analisis kebutuhan (Januari minggu 1-2), tahap desain dan pengembangan (Januari minggu 3 - Februari minggu 3), tahap implementasi dan pengambilan data (Februari minggu 4 - Maret minggu 2), dan tahap evaluasi (Maret minggu 3-4).

### **Subjek Penelitian**

Subjek penelitian adalah mahasiswa semester 4 yang mengambil mata kuliah Sepak Bola tahun akademik 2024/2025, berjumlah 40 orang. Subjek penelitian dibagi menjadi dua kelompok secara acak (*random assignment*) menggunakan teknik *simple random sampling*, yaitu kelompok eksperimen ( $n=20$ ) yang mendapatkan pembelajaran dengan modul berbasis sensor IMU, dan kelompok kontrol ( $n=20$ ) yang mendapatkan pembelajaran konvensional. Karakteristik subjek penelitian adalah mahasiswa yang sehat secara fisik, tidak memiliki cedera kaki atau lutut, dan belum pernah mengikuti pelatihan sepak bola formal di klub.

Untuk validasi produk, penelitian ini melibatkan ahli yang terdiri dari: (1) dua orang ahli materi pembelajaran sepak bola yang merupakan dosen sepak bola dengan pengalaman mengajar minimal 10 tahun, (2) dua orang ahli pedagogi olahraga dengan kualifikasi minimal Doktor bidang pendidikan olahraga, dan (3) dua orang ahli teknologi pendidikan yang memiliki keahlian dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi.

### **Prosedur Penelitian**

Tahap Analysis (Analisis). Pada tahap analisis dilakukan identifikasi kebutuhan melalui observasi pembelajaran mata kuliah sepak bola, wawancara dengan dosen pengampu dan mahasiswa, serta analisis dokumen kurikulum. Analisis juga meliputi kajian literatur tentang pembelajaran teknik tendangan sepak bola, teknologi sensor IMU, dan aplikasinya dalam pendidikan olahraga. Hasil analisis menunjukkan perlunya pengembangan modul pembelajaran yang dapat memberikan *feedback* objektif dan terukur tentang parameter biomekanik teknik tendangan.

Tahap Design (Desain). Pada tahap desain, dikembangkan blueprint modul pembelajaran yang terdiri dari: (1) perangkat keras berupa sensor IMU MPU-6050 yang dipasang pada kaki bagian punggung kaki dengan menggunakan strap elastis, (2) perangkat lunak berupa aplikasi mobile berbasis Android untuk akuisisi data sensor, pemrosesan data *real-time*, dan visualisasi hasil, (3) materi pembelajaran teknik tendangan sepak bola yang mencakup tendangan dengan kaki bagian dalam, kaki bagian luar, dan punggung kaki, serta (4) panduan penggunaan untuk dosen dan mahasiswa.

Tahap Development (Pengembangan). Pada tahap pengembangan, dilakukan realisasi desain menjadi produk nyata. Sensor IMU MPU-6050 dipilih karena spesifikasinya yang memadai dengan harga terjangkau. Sensor dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 yang memiliki kemampuan *Bluetooth Low Energy* untuk transmisi data *wireless* ke *smartphone*. Aplikasi dikembangkan menggunakan platform Android Studio dengan bahasa pemrograman Kotlin. Produk yang telah dikembangkan kemudian divalidasi oleh tim ahli melalui angket validasi dengan skala Likert 1-5.

Tahap Implementation (Implementasi). Pada tahap implementasi, modul pembelajaran diterapkan pada kelompok eksperimen selama 8 pertemuan (8 minggu). Setiap pertemuan

berdurasi 100 menit. Kelompok kontrol mendapatkan pembelajaran konvensional dengan struktur yang sama namun tanpa penggunaan sensor IMU. *Pre-test* dilakukan sebelum implementasi untuk mengukur keterampilan awal teknik tendangan mahasiswa, dan *post-test* dilakukan setelah 8 pertemuan.

Tahap Evaluation (Evaluasi). Pada tahap evaluasi dilakukan analisis data untuk mengetahui efektivitas modul pembelajaran. Evaluasi formatif dilakukan selama proses implementasi untuk perbaikan teknis dan pedagogi. Evaluasi sumatif dilakukan setelah implementasi selesai untuk menilai keberhasilan produk secara keseluruhan.

### **Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data**

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi: (1) Angket validasi ahli dengan skala Likert 1-5 untuk menilai kelayakan produk dari aspek materi, pedagogi, dan teknologi, (2) Rubrik penilaian keterampilan teknik tendangan sepak bola yang mengukur lima aspek dengan total skor maksimal 25, (3) Sensor IMU MPU-6050 yang terintegrasi dengan aplikasi untuk mengukur parameter biomekanik, (4) Angket respon mahasiswa dengan skala Likert 1-5, dan (5) Lembar observasi untuk mendokumentasikan proses pembelajaran.

### **Teknik Analisis Data**

Data kuantitatif dari hasil validasi ahli dianalisis secara deskriptif dengan menghitung rata-rata skor dan persentase untuk menentukan tingkat kelayakan produk. Data hasil *pre-test* dan *post-test* keterampilan teknik tendangan dianalisis menggunakan statistik inferensial. Uji normalitas data menggunakan uji *Shapiro-Wilk*. Untuk data yang berdistribusi normal, digunakan uji-t berpasangan untuk membandingkan skor *pre-test* dan *post-test* dalam masing-masing kelompok, dan uji-t independen untuk membandingkan peningkatan antara kelompok eksperimen dan kontrol. Perhitungan *effect size* menggunakan Cohen's d. Analisis data menggunakan software SPSS versi 26 dengan taraf signifikansi  $\alpha=0,05$ .

## **Hasil dan Pembahasan**

### **Hasil Validasi Produk oleh Ahli**

Validasi produk modul pembelajaran berbasis sensor IMU dilakukan oleh enam orang ahli yang terdiri dari dua ahli materi sepak bola, dua ahli pedagogi olahraga, dan dua ahli teknologi pendidikan. Hasil validasi menunjukkan bahwa modul pembelajaran yang dikembangkan memperoleh penilaian yang sangat baik dari semua validator.

Tabel 1. Hasil Validasi Ahli Terhadap Modul Pembelajaran

Aspek Penilaian	Ahli Materi	Ahli Pedagogi	Ahli Teknologi	Rata-rata	Kategori
Kesesuaian materi dengan kompetensi	4,8	4,6	-	4,7	Sangat Layak
Kebenaran konsep biomekanik	4,7	-	-	4,7	Sangat Layak
Kelengkapan materi	4,6	4,5	-	4,6	Sangat Layak
Kemudahan penggunaan sensor	-	-	4,7	4,7	Sangat Layak
Keamanan penggunaan	4,7	4,6	4,7	4,7	Sangat Layak
<b>Rata-rata keseluruhan</b>	<b>4,7</b>	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>	<b>4,6</b>	<b>Sangat Layak</b>

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa modul pembelajaran memperoleh rata-rata skor validasi sebesar 4,6 dari skala maksimal 5,0, yang termasuk dalam kategori sangat layak. Validator memberikan beberapa masukan perbaikan yang kemudian ditindaklanjuti dalam revisi produk, antara lain: (1) penambahan ilustrasi visual pada modul untuk memperjelas konsep biomekanik, (2) penyederhanaan tampilan data sensor agar lebih mudah dipahami mahasiswa pemula, (3) penambahan video tutorial penggunaan sensor dan aplikasi, dan (4) penyusunan panduan *troubleshooting*.

### Hasil Pengukuran Keterampilan Teknik Tendangan

Data keterampilan teknik tendangan sepak bola mahasiswa diukur melalui *pre-test* sebelum perlakuan dan *post-test* setelah 8 pertemuan pembelajaran. Pengukuran dilakukan menggunakan rubrik penilaian yang sama untuk kedua kelompok oleh dua penilai independen.

Tabel 2. Deskripsi Data Keterampilan Teknik Tendangan

Kelompok	Pengukuran	N	Mean	SD	Min	Max
Eksperimen	<i>Pre-test</i>	20	65,4	5,8	56	76
Eksperimen	<i>Post-test</i>	20	82,7	4,2	76	92
Kontrol	<i>Pre-test</i>	20	64,8	6,1	54	75
Kontrol	<i>Post-test</i>	20	71,3	5,7	62	82

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada pengukuran awal (*pre-test*), kedua kelompok memiliki keterampilan yang relatif setara dengan rata-rata kelompok eksperimen 65,4 dan kelompok kontrol 64,8. Setelah implementasi pembelajaran selama 8 pertemuan, kelompok eksperimen

mengalami peningkatan rata-rata skor menjadi 82,7, sedangkan kelompok kontrol meningkat menjadi 71,3. Peningkatan kelompok eksperimen (17,3 poin) jauh lebih besar dibandingkan kelompok kontrol (6,5 poin).

### Uji Normalitas dan Uji Perbedaan

Sebelum melakukan analisis statistik inferensial, dilakukan uji normalitas data menggunakan uji Shapiro-Wilk. Hasil uji menunjukkan bahwa semua data berdistribusi normal ( $p > 0,05$ ), sehingga analisis dapat dilanjutkan dengan uji parametrik.

Tabel 3. Hasil Uji-t Berpasangan dan Independen

Kelompok/Uji	Mean Difference	t-value	df	p-value	Cohen's d	Keterangan
Eksperimen (paired)	17,3	14,25	19	<0,001	-	Signifikan
Kontrol (paired)	6,5	4,87	19	<0,05	-	Signifikan
Post-test (independent)	11,4	7,23	38	<0,001	2,18	Sangat Besar

Tabel 3 menunjukkan bahwa kedua kelompok mengalami peningkatan keterampilan yang signifikan. Kelompok eksperimen mengalami peningkatan rata-rata 17,3 poin dengan nilai  $t=14,25$  ( $p < 0,001$ ), sedangkan kelompok kontrol meningkat 6,5 poin dengan nilai  $t=4,87$  ( $p < 0,05$ ). Terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol pada pengukuran post-test dengan nilai  $t=7,23$  ( $p < 0,001$ ). Perhitungan *effect size* menggunakan Cohen's d menghasilkan nilai 2,18 yang termasuk dalam kategori sangat besar.

### Respon Mahasiswa

Respon mahasiswa kelompok eksperimen terhadap penggunaan modul pembelajaran berbasis sensor IMU sangat positif. Aspek yang memperoleh penilaian tertinggi adalah kemanfaatan *feedback real-time* (92,5%) dan peningkatan motivasi belajar (91,8%). Mahasiswa merasa terbantu dengan feedback objektif yang diberikan sensor dan visualisasi data yang mudah dipahami (87,3%). Tingkat kepuasan keseluruhan mencapai 89,2% dengan kategori sangat puas.

### Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul pembelajaran berbasis sensor IMU efektif dalam meningkatkan keterampilan teknik tendangan sepak bola mahasiswa. Efektivitas ini dapat dijelaskan dari beberapa aspek. Pertama, sensor IMU memberikan *feedback* yang objektif dan terukur tentang parameter biomekanik gerakan mahasiswa. Data objektif ini memungkinkan mahasiswa untuk mengetahui dengan pasti aspek mana dari teknik mereka yang perlu diperbaiki. Kedua, *feedback* yang *real-time* atau segera setelah eksekusi gerakan. Ketiga, visualisasi data yang memfasilitasi pemahaman konsep biomekanik. Keempat, promosi pembelajaran mandiri dan *self-regulated learning*. Kelima, peningkatan motivasi belajar.

Temuan ini konsisten dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan potensi teknologi sensor *wearable* dalam meningkatkan pembelajaran keterampilan motorik. Penelitian Wilmes dan rekan-rekan pada tahun 2020 menunjukkan bahwa sensor IMU dapat

melacak gerakan pemain sepak bola dengan akurasi tinggi. Studi yang dilakukan pada tahun 2021 menemukan bahwa sensor IMU dapat mendeteksi jenis tendangan dengan akurasi hingga 87% menggunakan algoritma *deep learning*.

Dari perspektif pedagogi, modul pembelajaran yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan teknologi dengan pendekatan pembelajaran yang berpusat pada mahasiswa. Mahasiswa tidak hanya menjadi penerima pasif informasi dari dosen, tetapi aktif menganalisis data sensor mereka sendiri, mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki, dan merancang strategi latihan mereka. Penggunaan sensor IMU juga memfasilitasi pembelajaran berbasis inquiry dimana mahasiswa didorong untuk mengajukan pertanyaan tentang teknik mereka.

Meskipun hasil penelitian menunjukkan efektivitas yang tinggi, terdapat beberapa keterbatasan. Pertama, terdapat beberapa kendala teknis pada awal implementasi seperti masalah koneksi *Bluetooth* dan kalibrasi sensor. Kedua, pembelajaran dengan sensor IMU memerlukan waktu adaptasi baik dari mahasiswa maupun dosen. Ketiga, meskipun sensor IMU dapat mengukur parameter biomekanik dengan akurat, interpretasi data masih memerlukan pemahaman konsep biomekanik yang baik.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa, Pertama, modul pembelajaran berbasis sensor IMU untuk pembelajaran teknik tendangan sepak bola yang dikembangkan dinyatakan sangat layak digunakan berdasarkan validasi ahli dengan rata-rata skor 4,6 dari 5,0. Modul pembelajaran memenuhi kriteria kelayakan dari aspek kesesuaian materi, kelayakan pedagogi, dan kelayakan teknologi.

Kedua, modul pembelajaran berbasis sensor IMU efektif dalam meningkatkan keterampilan teknik tendangan sepak bola mahasiswa. Kelompok eksperimen mengalami peningkatan rata-rata 17,3 poin, sedangkan kelompok kontrol hanya meningkat 6,5 poin. Terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara kelompok eksperimen dan kontrol ( $p < 0,001$ ) dengan *effect size Cohen's d* sebesar 2,18 yang termasuk kategori sangat besar.

Ketiga, respon mahasiswa terhadap penggunaan modul pembelajaran berbasis sensor IMU sangat positif dengan tingkat kepuasan 89,2%. Mahasiswa merasa terbantu dengan *feedback real-time* (92,5%), visualisasi data yang mudah dipahami (87,3%), dan peningkatan motivasi belajar (91,8%).

Berdasarkan kesimpulan di atas, beberapa saran dapat diberikan, untuk praktisi pendidikan olahraga, modul pembelajaran berbasis sensor IMU ini dapat digunakan sebagai alternatif metode pembelajaran yang inovatif untuk meningkatkan keterampilan teknik tendangan sepak bola. Program studi pendidikan jasmani dapat mempertimbangkan untuk mengadopsi teknologi *sensor wearable* dalam pembelajaran keterampilan teknik olahraga. Untuk pengembangan lebih lanjut, perlu dilakukan perbaikan pada aspek kemudahan penggunaan teknis, penyediaan panduan yang lebih komprehensif, dan pengembangan sistem yang lebih *robust* untuk dapat diimplementasikan dalam skala yang lebih luas. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian longitudinal tentang retensi keterampilan jangka panjang, penelitian tentang transfer pembelajaran ke konteks permainan yang sebenarnya, dan pengembangan sistem yang lebih canggih dengan integrasi machine learning untuk personalisasi pembelajaran.



### Daftar Pustaka

- Banville, D., Erwin, H., Kubik, M., Timken, G., & Mercier, K. (2021). Physical education in a pandemic: A case study of a university teacher education programme. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 27(6), 630-645.
- Blair, S., Duthie, G., Robertson, S., Hopkins, W., & Ball, K. (2019). Concurrent validation of an inertial measurement system to quantify kicking biomechanics in four football codes. *Journal of Biomechanics*, 73, 24-32.
- Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review. *Sensors*, 18(3), 873.
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (2015). *The systematic design of instruction (8th ed.)*. Pearson.
- Dong, X. (2023). Construction of sports education performance evaluation model using machine learning algorithm. *Soft Computing*, 27(11), 7313-7326.
- Dörge, H. C., Andersen, T. B., Sørensen, H., & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 20(4), 293-299.
- Fuss, F. K., Düking, P., & Weizman, Y. (2018). Discovery of a sweet spot on the foot with a smart wearable soccer boot sensor that maximizes the chances of scoring a curved kick in soccer. *Frontiers in Physiology*, 9, 63.
- García-Ceberino, J. M., Antúnez, A., Ibáñez, S. J., & Feu, S. (2020). Design and validation of the instrument for the measurement of learning and performance in football. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4629.
- Guo, J. (2024). Construction of teaching framework for innovation in sports education based on machine learning and artificial intelligence. *Soft Computing*, 28(2), 1287-1299.
- Horenstein, R. E., Goudeau, Y. R., Lewis, C. L., & Shefelbine, S. J. (2020). Using magneto-inertial measurement units to pervasively measure hip joint motion during sports. *Sensors*, 20(17), 4970.
- Kellis, E., & Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2), 154-165.
- Magill, R. A., & Anderson, D. I. (2017). *Motor learning and control: Concepts and applications (11th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Meng, Y. (2021). *Virtual reality technology-based safety education for university physical education courses. Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-12.
- Mitchell, E., Monaghan, D., & O'Connor, N. E. (2013). Classification of sporting activities using smartphone accelerometers. *Sensors*, 13(4), 5317-5337.
- Moreno-Guerrero, A. J., Rodríguez-Jiménez, C., Gómez-García, G., & Ramos Navas-Parejo, M. (2020). Educational innovation in higher education: Use of role playing and educational video in future teachers' training. *Sustainability*, 12(6), 2558.

- Omarov, B., Omarov, B., Kisselyova, A., Kussainova, S., Doszhanova, A., & Mukhametzhanova, A. (2024). Augmented reality mobile game application with game-based learning method to increase physical activity among students. *Education and Information Technologies*, 29(5), 5845-5866.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2019). *Motor learning and performance: From principles to application (6th ed.)*. Human Kinetics.
- Shan, G., & Westerhoff, P. (2005). Full-body kinematic characteristics of the maximal instep soccer kick by male soccer players and parameters related to kick quality. *Sports Biomechanics*, 4(1), 59-72.
- Waldron, M., Highton, J., Daniels, M., & Twist, C. (2021). Preliminary reliability and validity of a novel wearable sensor for quantifying soccer-specific actions. *Journal of Sports Sciences*, 39(15), 1730-1737.
- Wilmes, E., De Ruiter, C. J., Bastiaansen, B. J., Van Zon, J. F., Vegter, R. J., Brink, M. S., Goedhart, E. A., Lemmink, K. A., & Savelsbergh, G. J. (2020). Inertial sensor-based motion tracking in football with movement intensity quantification. *Sensors*, 20(9), 2527.
- Xiao, W., Lu, Y., Gong, C., Hu, X., & Dou, W. (2020). Internet-based intelligent sports wristband for monitoring heart rate changes. *Measurement and Control*, 53(7-8), 1476-1484.
- Zhou, L., Tunca, C., Fischer, E., Brahms, M., Ersoy, C., Granacher, U., & Arnrich, B. (2020). Validation of an IMU gait analysis algorithm for gait monitoring in daily life situations. *In Proceedings of the 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 4229-4232.