



JURNAL RISET DAN INOVASI PENDIDIKAN SAINS (JRIPS)

Vol. 5 No. 1 (2026) pp. 109-121

<http://jurnal.umb.ac.id/index.php/JRIPS/>

p-ISSN: 2809-5200 e-ISSN: 2809-5219

MODEL EKSPERIMENTASI FISIKA DIGITAL MENGGUNAKAN *MACHINE LEARNING* DAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* BERBASIS *WEBOTS* UNTUK MENINGKATKAN *COMPUTATIONAL THINKING*

Adi Pramuda^{*1}, Syarif Lukman Hakim Assegaf², Matsun², Soka Hadiati²

¹ Program Studi Magister Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia.

² Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas PGRI Pontianak, Pontianak, Indonesia

*Correspondent Author : adipramuda@unm.ac.id

ABSTRAK

Sangat mendesak khususnya di Kalimantan Barat melalui pembelajaran dalam program studi pendidikan fisika IKIP PGRI Pontianak yang dapat mengembangkan kemampuan calon guru fisika dalam menggunakan dan mengembangkan laboratorium digital dalam pembelajaran fisika. Hal ini tidak hanya akan membantu mereka mengatasi tantangan yang ada tetapi juga mempersiapkan siswa mereka untuk masa depan di era digital. Masalahnya adalah belum ada studi mendalam terkait model eksperimen fisika digital yang memanfaatkan pembelajaran mesin dan kecerdasan buatan berbasis webot yang dapat meningkatkan pemikiran komputasional siswa. Penelitian ini memiliki nilai penting untuk mengetahui bentuk model eksperimen fisika digital yang memanfaatkan pembelajaran mesin dan kecerdasan buatan berbasis webot yang dapat meningkatkan pemikiran komputasional siswa; untuk mengetahui tingkat kelayakan menurut para ahli dari model eksperimen fisika digital yang memanfaatkan pembelajaran mesin dan kecerdasan buatan berbasis webot. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan, merujuk pada Borg dan Gall dengan batasan sesuai dengan tujuan penelitian untuk menemukan bentuk model dan validasi ahli. Model yang dikembangkan terdiri dari beberapa sintaks penting, yaitu: memahami antarmuka pengguna, menciptakan lingkungan, menggunakan sensor dan aktuator, mengembangkan program kontrol, menggunakan pembelajaran mesin (dengan fokus pada variasi massa dan material), dan akhirnya menganalisis data dari simulasi dan menafsirkannya untuk mendapatkan pemahaman tentang konsep fisika. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa model yang dikembangkan memenuhi kriteria yang baik.

Kata Kunci: *Machine Learning; Artificial Intelligence; Webots; Computational Thinking.*

PENDAHULUAN

Laboratorium digital memiliki peran penting dalam pendidikan fisika, terutama dalam konteks kompetensi abad 21, Society 5.0, dan Revolusi Industri 4.0. Peningkatan Simulasi Konsep melalui Laboratorium digital memungkinkan mahasiswa untuk menyimulasikan eksperimen fisika, dapat memudahkan mereka dalam memahami konsep fisika. Hal ini sekaligus akan mengembangkan Keterampilan Abad 21. Laboratorium digital melalui model yang sesuai akan membantu mahasiswa mengembangkan keterampilan abad 21, seperti berpikir kritis, berpikir kreatif, berkomunikasi, dan berkolaborasi. (Gunawan et al., 2017). Sejalan dengan era Society 5.0 dan Revolusi Industri 4.0, pendidikan perlu beradaptasi dengan perkembangan teknologi. Laboratorium digital, sebagai bagian dari teknologi pendidikan, memungkinkan mahasiswa untuk belajar dalam lingkungan yang lebih interaktif dan menarik. Ada kebutuhan besar karena kebutuhan calon guru yang cakap dalam mengembangkan laboratorium digital beserta model eksperimentasinya.

Machine Learning (ML) dan *Artificial Intelligence* (AI) memiliki kaitan yang erat dengan eksperimentasi fisika di era digital. Metode optimisasi seperti algoritma evolusi atau algoritma yang terinspirasi oleh gerakan partikel dalam fisika digunakan untuk menemukan solusi terbaik dalam masalah seperti optimisasi parameter model atau pengaturan kebijakan. *Machine learning* dalam pembelajaran robot dapat meningkatkan *understanding of complex concepts* (Smith et al., 2023). AI sering digunakan untuk mensimulasikan fenomena fisika kompleks, seperti pergerakan fluida, dinamika struktur molekul, atau perilaku material dalam berbagai kondisi. Adanya kemampuan komputasi kuantum, AI dapat memanfaatkan prinsip-prinsip fisika kuantum untuk meningkatkan kinerja dalam pemrosesan data, optimisasi, dan *machine learning*. AI digunakan untuk menganalisis data besar yang dihasilkan dari eksperimen fisika atau simulasi, membantu dalam identifikasi pola, tren, dan perilaku yang mungkin sulit dipahami secara manual. Prinsip-prinsip termodinamika digunakan dalam merancang algoritma dan arsitektur yang efisien secara energi, membantu dalam mengurangi konsumsi daya dan meningkatkan kinerja sistem AI.

Penggunaan Webots dalam robotika membantu siswa memahami konsep machine learning dengan cara yang lebih interaktif dan praktis (Hendrawan & Sari, 2023). Webots, sebagai platform simulasi robotik, dapat memainkan peran penting dalam meningkatkan kemampuan *computational thinking* mahasiswa. Mahasiswa dapat menggunakan Webots untuk dekomposisi atau memecah masalah besar menjadi sub-masalah yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola. Simulasi berulang kali di Webots sekaligus mahasiswa dapat mengidentifikasi pola dan tren yang dapat membantu mereka dalam pemecahan masalah. Webots memungkinkan mahasiswa untuk mengabstraksi detail-detail yang tidak perlu dan fokus pada aspek-aspek penting dari masalah, mahasiswa dapat menggunakan Webots untuk

merancang, menguji, dan mengoptimalkan algoritma untuk mengendalikan robot. Webots, sebagai platform simulasi robotik, memiliki peran penting dalam mendukung kemampuan mahasiswa dalam ML dan AI. Berikut adalah beberapa peran konkrit Webots: Pembelajaran *Supervised* dan *Unsupervised*, Webots dapat digunakan untuk mengimplementasikan algoritma ML seperti k-Means, Decision Trees, Support Vector Machines (SVM), dan Neural Networks, mahasiswa dapat menggunakan Webots untuk melatih dan menguji model ML mereka dalam lingkungan simulasi yang realistis; *Reinforcement Learning*, Webots juga mendukung pembelajaran *reinforcement*, di mana agen AI dapat belajar bagaimana melakukan tugas tertentu melalui proses *trial and error*; Simulasi Realistik, Webots menyediakan lingkungan simulasi 3D yang realistis, memungkinkan mahasiswa untuk menguji algoritma AI dan ML mereka dalam berbagai situasi dan kondisi; Interaksi dengan Sensor dan Aktuator, Webots memungkinkan mahasiswa untuk merancang robot dengan berbagai sensor dan aktuator, memberikan mereka pengalaman praktis dalam bekerja dengan data sensor dan mengendalikan aktuator menggunakan AI dan ML. Implementasi teknologi berbasis simulasi dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis siswa (Sari dan Arifin, 2023).

Mahasiswa calon guru pendidikan fisika yang cakap dalam mengembangkan laboratorium digital beserta model eksperimentasinya diharapkan dapat menciptakan pembelajaran yang lebih menarik dan efektif, sehingga dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan siswa. Adanya kemampuan untuk mengembangkan dan menggunakan laboratorium digital, menjadikan mahasiswa calon guru dapat menjangkau lebih banyak siswa, bahkan di daerah yang kekurangan guru dan fasilitas laboratorium riil. Konsekuensinya adalah struktur kurikulum dan pembelajaran di perguruan tinggi harus lebih siap untuk menyongsong masa depan dengan berbagai update terkait platform modern. Pembelajaran di perguruan tinggi diharapkan mampu untuk menggunakan teknologi dalam pembelajaran, membantu mahasiswa calon guru mempersiapkan diri untuk masa depan di mana teknologi akan menjadi bagian integral dari kehidupan sehari-hari. Ada urgensi khususnya di Kalimantan Barat melalui pembelajaran di program studi pendidikan fisika UPGRIP Pontianak yang dapat mengembangkan kemampuan mahasiswa calon guru fisika dalam menggunakan dan mengembangkan laboratorium digital dalam pembelajaran fisika. Hal ini tidak hanya akan membantu mereka mengatasi tantangan yang ada, tetapi juga mempersiapkan siswa mereka untuk masa depan di era digital. Permasalahannya sampai saat ini belum ditemukan kajian secara lebih mendalam berkaitan model eksperimentasi fisika secara digital memanfaatkan *machine learning* dan *artificial intelligence* berbasis webots yang dapat meningkatkan *computational thinking* mahasiswa.

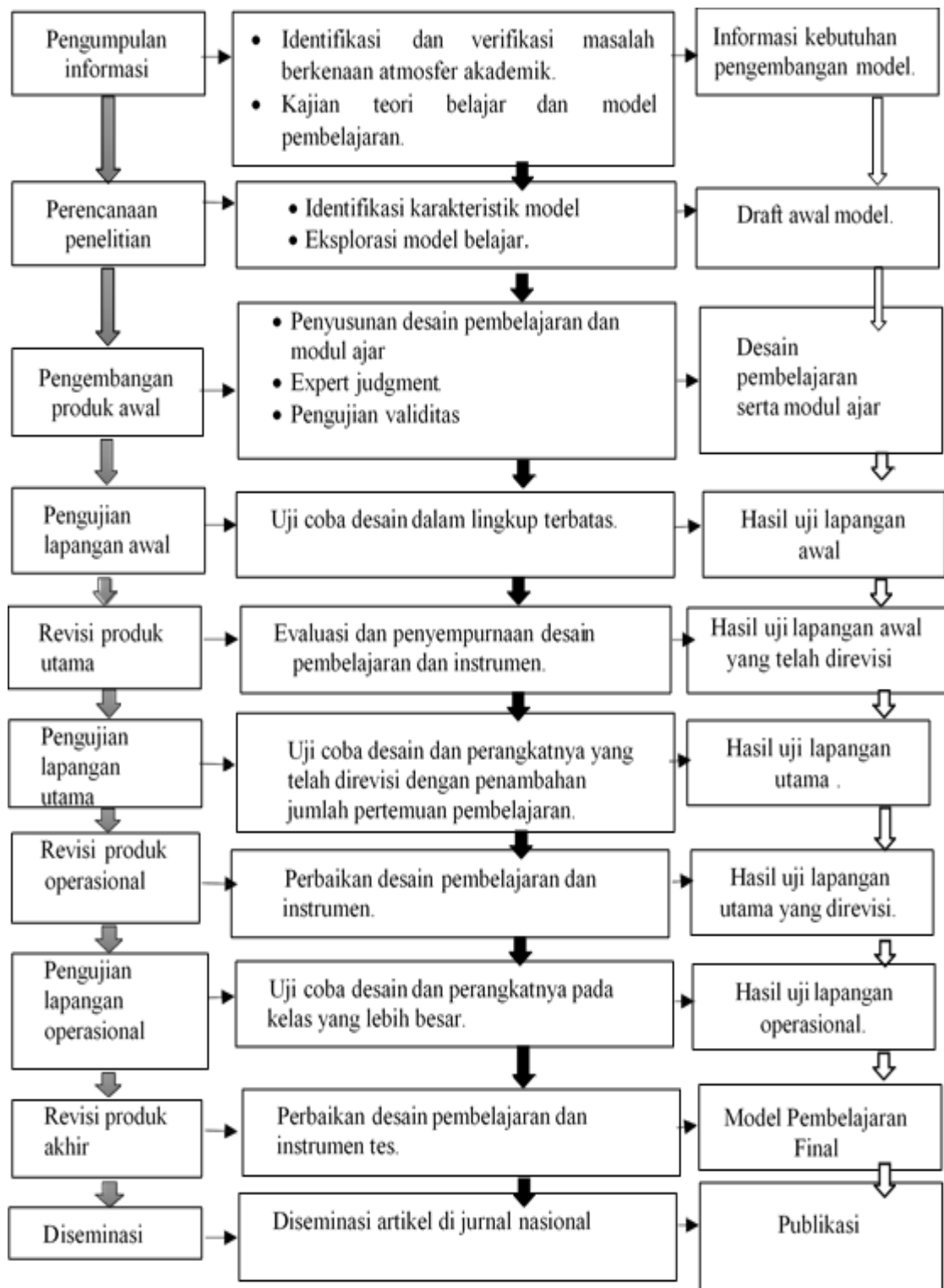
METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan, merujuk pada Borg dan Gall (1983), antara lain: pengumpulan informasi, perencanaan, pengembangan awal, pengujian awal (pengujian lapangan awal), revisi produk utama, pengujian utama (pengujian lapangan utama), revisi produk operasional, pengujian lapangan operasional, revisi produk akhir, dan diseminasi. Alur penelitian disajikan pada Gambar 1.

Penelitian ini hanya dilakukan sampai ujicoba utama karena keterbatasan waktu penelitian. Pengujian lapangan awal dilakukan secara terbatas pada beberapa orang mahasiswa. Saran-saran pada saat pembelajaran/penerapan model menjadi bahan untuk revisi produk utama. Evaluasi dan penyempurnaan model pembelajaran dan instrumen tes dilakukan pada tahap ini. Hasil revisi ini selanjutnya diujicobakan pada tahap pengujian lapangan utama pada satu kelas. Pada tahap pengujian lapangan utama ini dilakukan pembelajaran dengan model yang dikembangkan sebanyak 4 kali pertemuan kemudian diberikan tes kemampuan komputasional. Perbaikan model pembelajaran dan instrumen tes juga dilakukan pada tahap revisi produk utama sehingga didapatkan model final.

Revisi produk akhir dilakukan berdasarkan hasil pengujian lapangan serta saran observer berkaitan proses pembelajaran. Hasil ini digunakan sebagai bahan diseminasi. Diseminasi berupa publikasi artikel di jurnal nasional terakreditasi serta modul ajar.



Gambar 1. Alur Penelitian

Subjek Penelitian

Subjek penelitian yang terlibat dalam penelitian, yaitu: ahli, dosen rekan sejawat, dan mahasiswa di Universitas PGRI Pontianak. Ahli dan dosen sebanyak 4 orang sebagai subjek penelitian untuk mendapatkan kelayakan model pembelajaran, serta mahasiswa sebanyak 12 orang.

Teknik dan Alat Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah teknik tes dan non tes. Tes yang digunakan adalah tes computational thinking. Teknik pengumpulan data non tes berupa lembar observasi pembelajaran, dan lembar validasi untuk kelayakan model.

Teknik Analisis Data

Data yang didapat dalam penelitian ini yaitu data kuantitatif. Data tes dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Analisis data kuantitatif yang didapat dari hasil analisis kelayakan, diolah menjadi skor rata-rata penilaian validator kemudian ditentukan kriteria kelayakannya merujuk pada Tabel 1.

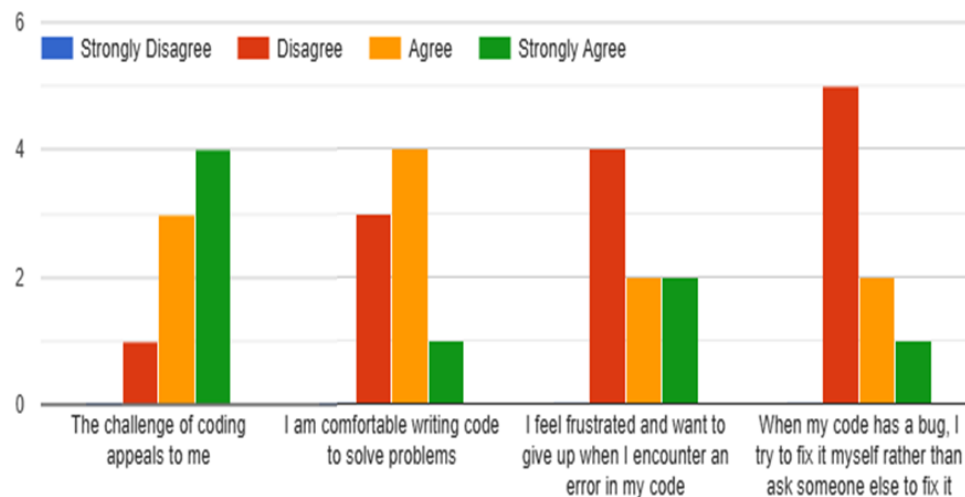
Tabel 1. Kriteria Pemberian Skor (Sugiyono, 2011)

Interval skor	Pencapaian
5	Sangat layak
4	Layak
3	Cukup
2	Kurang
1	Sangat kurang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengumpulan Informasi

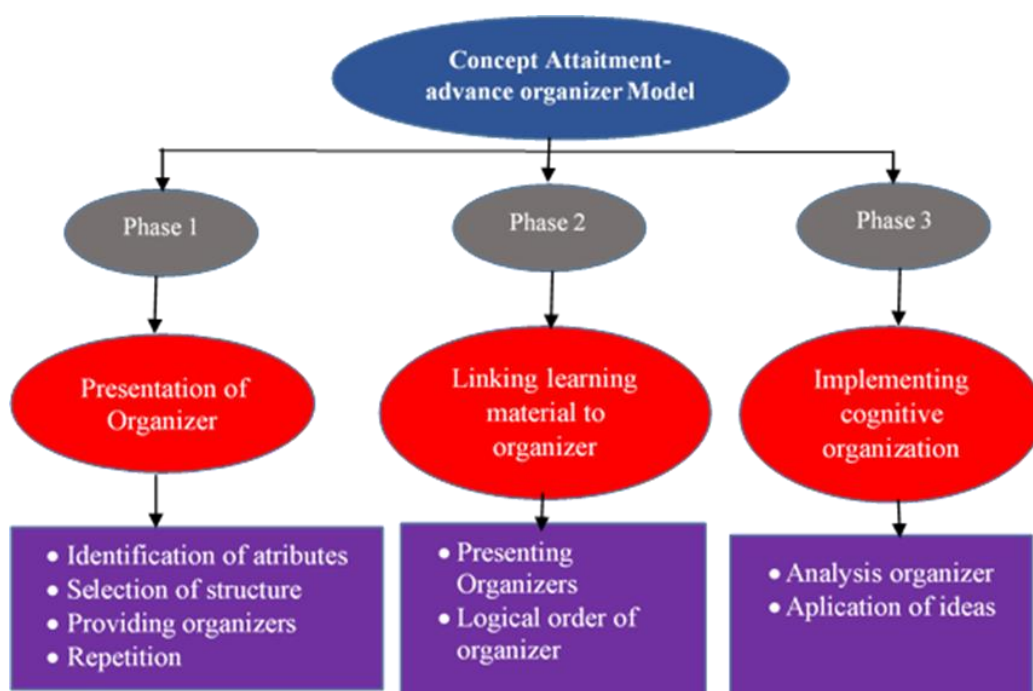
Kondisi awal mahasiswa yang kesulitan saat dihadapkan dengan permasalahan berkaitan algoritma dalam *machine learning* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar. 2. Permasalahan berkaitan algoritma dalam *machine learning*

Hasil Perencanaan

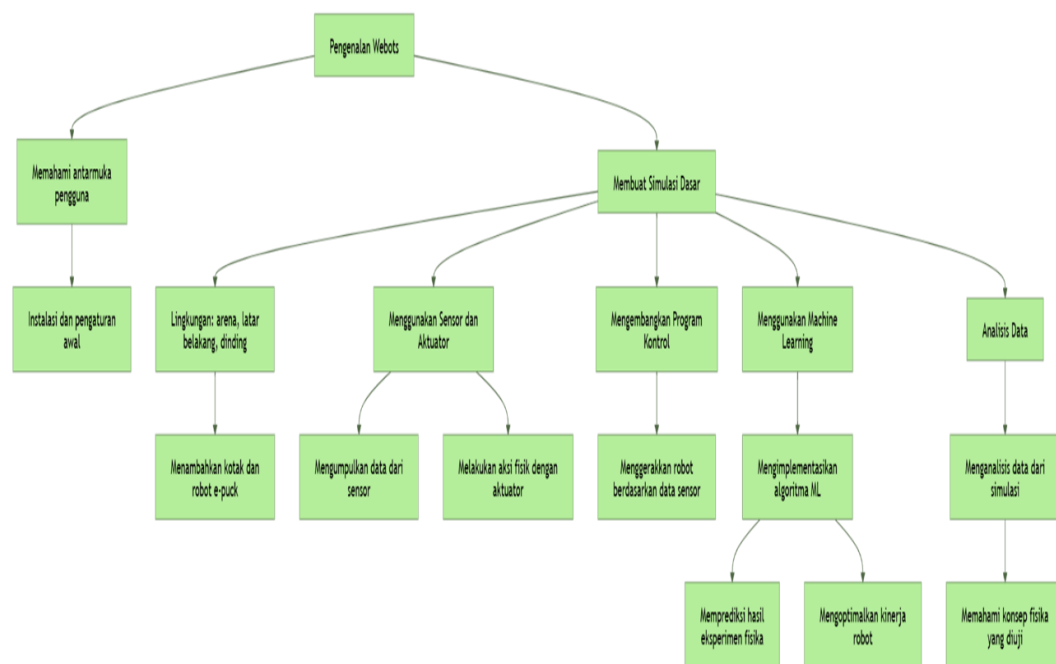
Model pembelajaran *concept attainment* banyak dikombinasikan dengan model pembelajaran lainnya. Model pembelajaran *concept attainment* diproyeksikan perlu dikombinasikan dengan model pembelajaran *advance organizer* dalam konteks adanya kepadatan informasi. Integrasi teknologi melalui kombinasi model pembelajaran *concept attainment* dengan model pembelajaran *advance organizer* dapat menjembatani untuk meningkatkan Computational Thinking. Gambar 3 merupakan visualisasi draft awal model yang terdiri atas 3 fase.



Gambar 3. Draft awal model pembelajaran

Hasil Pengembangan dan Revisi

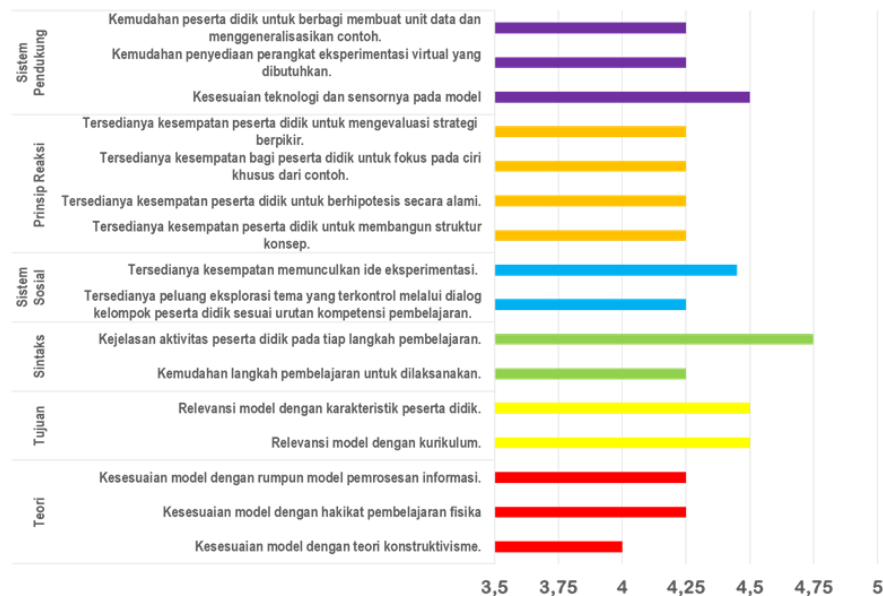
Bidang penelitian pembelajaran umumnya masih berfokus pada pengembangan kelompok model pembelajaran pemrosesan informasi. Pengembangannya termasuk juga berbagai strategi yang berasosiasi di dalamnya. Kajian oleh Navarro (2014); Eskin & Bekiroglu (2012); King & English (2016); Rye, Landenberger, dan Warner (2013); mengungkap bahwa penelitian berkaitan model dan strategi pembelajaran sains (fisika) pada kelompok model pembelajaran pemrosesan informasi masih berkonsentrasi pada upaya untuk meningkatkan pemahaman konsep peserta didik. Deaft awal model kemudian dikembangkan menjadi lebih spesifik seeptri Visualisasi final model yang disajikan pada Gambar 4. Tanda panah menunjukkan tahapan pembelajaran yang dilakukan.



Gambar 4. Model Final eksperimentasi fisika digital menggunakan *machine learning* dan *artificial intelligence* berbasis Webots

Hasil kelayakan disajikan pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan penilaian dari validator terhadap setiap indikator kelayakan model. Pada setiap aspek indikator, penilaian memiliki nilai minimal 4 yang berarti bawa setiap indikator masuk pada kategori Layak. Model dinyatakan layak oleh ahli karena model ini dikonstruksi mengacu pada rumpun model pemrosesan informasi dari Joyce, Weil, dan Calhoun (2016). Model pemrosesan informasi sering melibatkan kegiatan yang interaktif dan kolaboratif, yang dapat meningkatkan pemahaman dan keterlibatan peserta didik (Rehalat, 2014). Model ini mendorong siswa untuk berpikir kritis dalam mengumpulkan, mengorganisasi, dan menganalisis informasi. Model ini sering kali melibatkan penggunaan teknologi, yang dapat meningkatkan

keterlibatan dan motivasi peserta didik (Dalimunthe, Siregar, & Nasution, 2023). Berdasarkan teori belajar kognitif, model ini membantu dalam pengembangan kemampuan kognitif peserta didik, mengembangkan keterampilan abad 21 seperti kolaborasi, komunikasi, inovasi, dan penggunaan teknologi (Nikmah, Muzdalifah, & Retnanto, 2024).



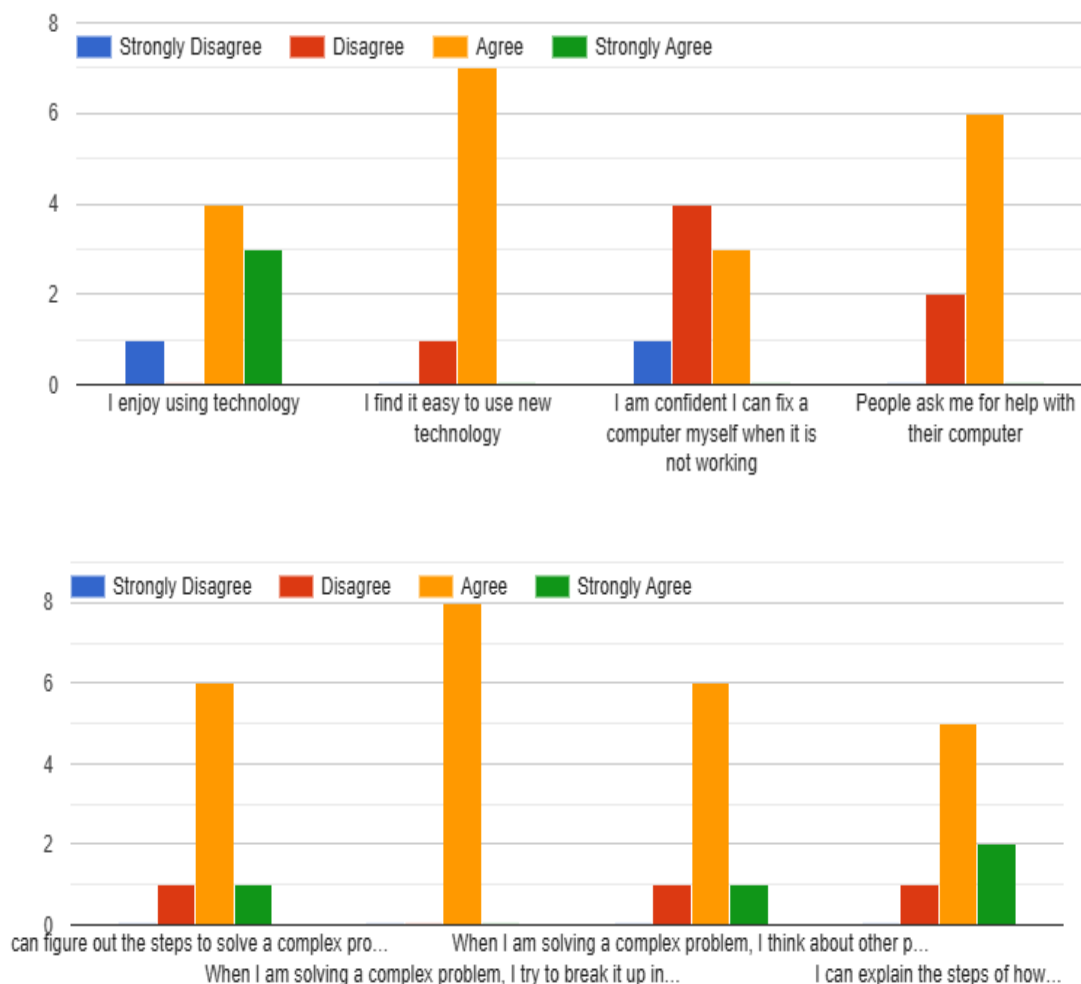
Gambar 5. Hasil Kelayakan Model

Model yang telah layak kemudian di ujicobakan di kelas selanjutnya diukur kemampuan komputasional siswa. Hasil tes menggunakan instrumen standar tes *Computational thinking* Callysto disajikan pada Gambar 6.

Kelompok atau rumpun model pembelajaran pemrosesan informasi menekankan pemerolehan, transfer dan pengolahan data dengan mengenali dunia, serta merasakan berbagai permasalahan berikut solusinya secara terkonsep (Joyce, Weil, & Calhoun, 2016). Rumpun model pembelajaran pemrosesan informasi bila dikaitkan dengan kompetensi dan keterampilan abad 21 memiliki keunggulan akan peluangnya yang baik bila digabungkan dengan kemajuan ICT (Joyce, Weil, & Calhoun, 2016). Seiring era abad 21 peserta didik diharapkan dapat mengelola berbagai banyak informasi. Kekhasan sintaks, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dan dampak atau dampak instruksional serta pengiring antara model rumpun model pembelajaran pemrosesan informasi berdampak pada kesesuaian model ini untuk menunjang tujuan yang terkait dengan kompetensi dan keterampilan abad 21, serta ICT.

Kelompok model pembelajaran pemrosesan informasi melalui model pembelajaran concept attainment menurut Joyce, Weil, dan Calhoun (2016) memungkinkan terbukanya eksplorasi bidang konseptual baru maupun rangkaian penelitian dalam individu dan kelompok dapat diawali dengan serangkaian

penemuan konsep dan dilanjutkan dengan simulasi eksplorasi. Model pembelajaran concept attainment terkait dengan proses penyelidikan. Model ini membantu peserta didik agar mudah memahami konsep. Model ini dapat berlaku mulai dari pra-taman kanak-kanak hingga pendidikan tinggi. Hal ini disebabkan model ini melibatkan penyelidikan kritis, keterampilan penalaran, dan proses berpikir induktif. Model pembelajaran ini lebih baik dan efektif bila untuk mengupayakan peserta didik memahami konsep fisika dibandingkan dengan model pembelajaran tradisional. Model pembelajaran concept attainment menekankan penyediaan informasi seperti konsep-konsep dalam sains agar mudah dikuasai. Ada proses penguatan konsep baru dari konsep yang telah diketahui sebelumnya. Model ini berkembang atas prakarsa Bruner, Goodnow, dan Austin. Hal yang membedakannya dengan model induktif adalah pada analisis konsep yang mengarahkan peserta didik untuk menemukan konsep-konsep.



Gambar 6. Hasil tes menggunakan instrumen standar tes *Computational thinking* Callysto setelah penggunaan model

Konsep yang ditemukan dan dipahami dari eksplorasi suatu permasalahan sosiokultural akan bermanfaat dalam tahap otomatisasi pengetahuan serta pengambilan keputusan. Proses mengaitkan konsep lama yang terkait sosiokultural dengan konsep yang baru sering kali tidak mudah. Hal ini seiring derasnya arus teknologi dan informasi di sekeliling peserta didik. Arus teknologi dan informasi dapat berdampak positif maupun negatif bagi peserta didik. Anshari et al. (2016) menemukan bahwa seiring meluasnya penggunaan teknologi digital maka model pembelajaran di sekolah dituntut untuk berkembang. Model ini dikombinasikan dengan penggunaan *machine learning* dan *artificial intelligence* berbasis webots. Penerapan *machine learning* dalam pembelajaran sains menghadirkan pemecahan masalah sistematis bagi mahasiswa (Diningrat et al., 2025). Webots menghadirkan pembelajaran robotika yang akurat secara fisik (*physics-accurate*), sehingga membantu menjembatani antara teori matematis yang berat dengan realita. Integrasi alat digital dalam pendidikan fisika sangat penting, fisika modern semakin bergantung pada model komputasi dan analisis data, sehingga mengembangkan *Computational Thinking* menjadi kemampuan strategis untuk memformulasikan masalah dan merancang algoritma (Gunčaga et al., 2025). Peran AI dan *learning of thinking* (LOT) dalam pembelajaran fisika meningkatkan kemandirian dan hasil belajar fisika (Gontina & Asyhar, 2023; Usman & Faradina, 2025). Simulasi berbasis Webots yang mengintegrasikan aplikasi machine learning telah menjadi sarana efektif untuk meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus keterampilan berpikir kritis siswa dalam bidang robotika (Johnson & Lee, 2023; Putra & Fatimah, 2023).

KESIMPULAN

Model eksperimentasi fisika secara digital memanfaatkan *machine learning* dan *artificial intelligence* berbasis webots yang dapat meningkatkan *computational thinking* mahasiswa merupakan model yang dibangun dari karakteristik model *concept attainment* dan *advance organizer* dengan penekanan pada eksperimentasi menggunakan algoritma machine learning. Fungsi *artificial intelligence* adalah untuk mempercepat mahasiswa dalam mempelajari algoritma tersebut. Model eksperimentasi fisika secara digital memanfaatkan *machine learning* dan *artificial intelligence* berbasis webots untuk meningkatkan *computational thinking* mahasiswa yang dikembangkan memenuhi kriteria kelayakan ahli dengan kategori layak. Selanjutnya, perlu melibatkan ahli dari disiplin ilmu komputasi dan mekatronika untuk memberikan perspektif yang berbeda dan memperkaya hasil penelitian. Kolaborasi antar disiplin ilmu ini dapat menghasilkan solusi yang lebih inovatif dan komprehensif untuk menghasilkan bentuk eksperimentasi yang lebih maju.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshari, M., Alas, Y., Hardaker, G., Jaidin, J. H., Smith, M. & Ahad, A. D. (2016). Smartphone habit and behavior in Brunei: personalization, gender, and generation gap. *Computers in Human Behavior*, 64, 719-727.
- Borg, W.R., & Gall, M.D. (1983). *Educational research an introduction*. New York: Longman.
- Dalimunthe, Siregar, Nasution. (2023). Model Pembelajaran Pemrosesan Informasi. *Jurnal Pendidikan dan Konseling, Volume 5 Nomor 1*.
- Diningrat, S. W., et al. (2025). The application of machine learning algorithms in analyzing students' conceptual error patterns in science learning. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika (JPIF)*, 5(1), 54–65.
- Eskin & Bekiroglu, F. O. (2012). Argumentation as a strategy for conceptual learning of dynamics. *Research in Science Education*, 43, 1939.
- Gontina, W., & Asyhar, R. (2023). Dampak artificial intelligence terhadap pembelajaran IPA/fisika di sekolah. *Silampari Jurnal Pendidikan Ilmu Fisika*, 5(2), 238–250. <https://doi.org/10.31540/sjpif.v5i2.2355>.
- Gunawan, G., Harjono, A., Sahidu, H., & Herayanti, L. (2017). Virtual laboratory to improve students' problem-solving skills in electricity concept. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 6(2), 257–264. <https://doi.org/10.15294/jpii.v6i2.9226>.
- Gunčaga, J., Lopúchová, J., & Ambrušová, M. (2025). Developing 21st Century Skills Through Micro:bits in Inclusive Education. In Ł. Tomczyk (Ed.), *New Media Pedagogy: Research Trends, Methodological Challenges, and Successful Implementations*, Vol. 2537, pp. 110–128. Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95627-0_8
- Hendrawan, A., & Sari, D. (2023). Implementasi AI dan machine learning dalam pembelajaran robotika menggunakan Webots. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 15(3), 210-225.
- Johnson, M., & Lee, T. (2023). Webots as a tool for machine learning applications in robotics education. *International Journal of Robotics and Automation*, 12(2), 145-160.
- Joyce, B, Weil, M. & Calhoun, E. (2016). *Models of teaching* (11th Ed.) Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- King, D. & English, L. D. (2016). Engineering design in the primary school: applying stem concepts to build an optical instrument. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2762-2794.
- Navarro, M. (2014). Evolutionary maps: a new model for the analysis of conceptual development, with application to the diurnal cycle. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1231-1261.

- Nikmah, F., Muzdalifah, M., & Retnanto, A. (2024). Implementasi Pembelajaran IPAS Terintegrasi Keterampilan Abad 21 dalam Kurikulum Merdeka. *Dawuh Guru: Jurnal Pendidikan MI/SD*, 4(2), 129-146. <https://doi.org/https://doi.org/10.35878/guru.v4i2.1136>
- Putra, R., & Fatimah, N. (2023). Penerapan machine learning dalam simulasi robotika berbasis Webots. *Jurnal Teknik Informatika*, 9(1), 75-88.
- Rehalat, A. (2014). Model pembelajaran pemrosesan informasi. *Jurnal Pendidikan Ilmu Sosial*, Volume 23, No. 2, Edisi Desember.
- Rye, J., Landenberger, R. & Warner, T.A. (2013). Incorporating concept mapping in project-based learning: lessons from watershed investigations. *Journal of Science Education and Technology*, 22(3), 379-392.
- Sari, D., & Arifin, M. (2023). Implementasi teknologi berbasis simulasi dalam pembelajaran fisika dapat meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 10(2), 145-156.
- Smith, J., Brown, L., & White, R. (2023). Using Webots for educational robotics with machine learning. *Journal of Educational Robotics*, 6(1), 33-50.
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Usman, A., & Faradina, F. (2025). Optimalisasi peran AI dan learning of thinking (LOT) dalam pembelajaran fisika untuk meningkatkan kemandirian belajar siswa. *KUANTUM: Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika*, 6(1), 54–65.