

Masa Depan Pendidikan Fisika Indonesia di Era Society 5.0: Transformasi Pembelajaran, Artificial Intelligence, Dan Penguatan Literasi Sains Menuju Indonesia Emas 2045

Ramadani Khotibul Umam

Program Studi Pendidikan Fisika , Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas KH Abdul
Wahab Hasbullah Jombang Jawa Timur
e-mail: Akunyusmanto@gmail.com

Abstrak

Transformasi Society 5.0 menghadirkan tuntutan baru terhadap sistem pendidikan sains, termasuk pendidikan Fisika di Indonesia, yang harus mengintegrasikan teknologi digital, kecerdasan buatan, dan penguatan literasi sains untuk menyiapkan generasi Indonesia Emas 2045. Artikel konseptual ini bertujuan menganalisis kondisi aktual pendidikan Fisika Indonesia, peran Artificial Intelligence dalam pembelajaran Fisika, serta merumuskan roadmap transformasi menuju ekosistem pendidikan yang adaptif dan berbasis riset. Metode yang digunakan adalah kajian pustaka kritis (critical literature review) terhadap publikasi ilmiah nasional dan internasional periode 2021-2026, laporan OECD/PISA, UNESCO, dan Kemendikbudristek/Kemendikdasmen. Hasil kajian menunjukkan bahwa skor literasi sains pelajar Indonesia pada PISA 2022 hanya mencapai 383 poin, jauh di bawah rata-rata OECD yang berkisar 485-490 poin, mengindikasikan lemahnya kemampuan berpikir tingkat tinggi, tingginya miskonsepsi Fisika, keterbatasan pemanfaatan laboratorium, dan minimnya budaya riset mahasiswa calon guru. Di sisi lain, kehadiran teknologi Artificial Intelligence generatif seperti ChatGPT, Gemini, Copilot, dan Claude, serta laboratorium virtual seperti PhET, membuka peluang personalisasi pembelajaran melalui Intelligent Tutoring System dan Adaptive Learning, namun juga menuntut kesiapan etika dan literasi AI guru maupun mahasiswa. Kebaruan artikel ini terletak pada perumusan roadmap terintegrasi yang menghubungkan transformasi kurikulum, penguatan laboratorium digital, kompetensi guru abad ke-21 berbasis TPACK-AI, serta prinsip Green Physics Education dan Open Science sebagai fondasi menuju Indonesia Emas 2045. Artikel ini merekomendasikan kebijakan afirmatif bagi pemerintah, perguruan tinggi, sekolah, guru, dan mahasiswa pendidikan Fisika agar transformasi tersebut berlangsung secara kolaboratif, terukur, dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *Society 5.0; Pendidikan Fisika; Artificial Intelligence; Literasi Sains; Indonesia Emas 2045*

Abstract

The transformation toward Society 5.0 has introduced new demands on science education systems, including Physics education in Indonesia, which must integrate digital technology,

artificial intelligence, and strengthened scientific literacy to prepare the Golden Indonesia 2045 generation. This conceptual article aims to analyze the current state of Physics education in Indonesia, examine the role of Artificial Intelligence in Physics learning, and formulate a transformation roadmap toward an adaptive and research-based educational ecosystem. The study employs a critical literature review of national and international scientific publications published between 2021 and 2026, as well as reports from the OECD/PISA, UNESCO, and the Indonesian Ministry of Education (Kemendikbudristek/Kemendikdasmen). The findings reveal that Indonesian students achieved only 383 points in scientific literacy in the PISA 2022 assessment, substantially below the OECD average of approximately 485–490 points. This result indicates limited higher-order thinking skills, persistent misconceptions in Physics, inadequate utilization of laboratory facilities, and a weak research culture among pre-service Physics teachers. On the other hand, the emergence of generative Artificial Intelligence technologies such as ChatGPT, Gemini, Copilot, and Claude, along with virtual laboratories such as PhET, provides opportunities for personalized learning through Intelligent Tutoring Systems and Adaptive Learning. However, these innovations also require teachers and students to develop strong AI literacy and ethical competencies. The novelty of this article lies in proposing an integrated roadmap that connects curriculum transformation, the development of digital laboratories, the enhancement of 21st-century teacher competencies based on the TPACK-AI framework, and the principles of Green Physics Education and Open Science as fundamental pillars for achieving the vision of Golden Indonesia 2045. The article recommends affirmative policies for the government, higher education institutions, schools, teachers, and Physics education students to ensure that this transformation is implemented collaboratively, systematically, and sustainably.

Keywords : *Society 5.0; Physics education; Artificial Intelligence; scientific literacy; Golden Indonesia 2045*

LATAR BELAKANG

Dunia pendidikan global tengah mengalami pergeseran paradigmatik yang ditandai oleh transisi dari Society 4.0 menuju Society 5.0, sebuah konsep yang pertama kali diperkenalkan Jepang melalui Keidanren dalam Rencana Dasar Sains dan Teknologi Kelima tahun 2016 sebagai masyarakat berpusat pada manusia (human-centered) yang mengintegrasikan ruang siber dan ruang fisik secara mendalam guna menyeimbangkan kemajuan ekonomi dengan penyelesaian persoalan sosial (Federation), 2016, 2019). Konsep ini kemudian diperluas ke ranah pendidikan melalui gagasan Education 5.0, yang menekankan pembelajaran berpusat pada peserta didik dengan memanfaatkan teknologi digital seperti kecerdasan buatan, blockchain, realitas virtual, dan realitas tertambah untuk menghilangkan hambatan belajar sekaligus meningkatkan kesejahteraan pembelajar secara menyeluruh (Ahmad et al., 2023).

Seiring dengan itu, kehadiran Artificial Intelligence generatif turut mempercepat digitalisasi pembelajaran di berbagai jenjang. UNESCO menerbitkan Guidance for

Generative AI in Education and Research yang menegaskan pendekatan human-centered, perlindungan privasi data, dan penguatan kapasitas pendidik dalam memanfaatkan teknologi tersebut (Miao & Holmes, 2023), sebagai kelanjutan dari Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence tahun 2021 yang menempatkan hak asasi manusia, transparansi, dan pengawasan manusia (human oversight) sebagai prinsip utama tata kelola AI [4]. Pergeseran ini menuntut satuan pendidikan di seluruh dunia, termasuk Indonesia, untuk merancang ulang strategi pembelajaran agar tidak sekadar mengadopsi teknologi, melainkan memanfaatkannya secara bermakna dan etis.

Di tengah akselerasi transformasi digital tersebut, kondisi literasi sains Indonesia justru menunjukkan tren yang mengkhawatirkan. Hasil PISA 2022 yang dirilis OECD pada 5 Desember 2023 mencatat skor sains pelajar Indonesia hanya 383 poin, turun dibandingkan capaian pada periode 2015-2018, dan tertinggal jauh dari rata-rata negara OECD yang berkisar 485-490 poin (Databoks, 2024; OECD, 2023). Skor tersebut menempatkan Indonesia pada peringkat sekitar ke-67 dari 81 negara peserta (Kompas.id, 2023). Dengan capaian tersebut, mayoritas pelajar Indonesia berada pada level kompetensi 1a-2, yakni baru mampu menggunakan pengetahuan dasar untuk mengenali fenomena ilmiah sederhana, namun belum mampu menyusun hipotesis, menafsirkan data kompleks, atau mempertanyakan validitas argumen ilmiah secara mandiri (Databoks, 2024).

Persoalan rendahnya literasi sains tersebut termanifestasi secara spesifik dalam pembelajaran Fisika di sekolah menengah maupun Program Studi Pendidikan Fisika di perguruan tinggi. Berbagai kajian menunjukkan bahwa miskonsepsi Fisika masih menjadi persoalan struktural yang sulit diremediasi, mencakup konsep gaya, usaha, energi, suhu, dan kalor, yang cenderung bertahan meskipun peserta didik telah menerima pembelajaran formal (Suparno, 2013). Studi terbaru oleh (Afni et al., 2024) terhadap siswa SMA pada materi Hukum Newton menemukan korelasi yang kuat dan signifikan antara miskonsepsi dengan hasil belajar dan kemampuan berpikir kritis, mengindikasikan bahwa miskonsepsi yang tidak terdeteksi sejak dini akan berdampak kumulatif terhadap kualitas penalaran ilmiah peserta didik. Rendahnya minat belajar Fisika turut diperparah oleh dominasi budaya hafalan (rote learning), keterbatasan laboratorium riil yang belum optimal dari sisi peralatan maupun pemanfaatan, serta praktik asesmen yang masih berorientasi pada penguasaan rumus alih-alih kompetensi bernalar dan memecahkan masalah otentik (Yusmar & Fadilah, 2023).

Pada level pendidik, guru Fisika abad ke-21 dihadapkan pada tuntutan kompetensi yang jauh lebih kompleks dibandingkan generasi sebelumnya: penguasaan Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK), literasi digital dan literasi data, kemampuan merancang pembelajaran berbasis inkuiri dan proyek, sekaligus kesiapan etis dalam memanfaatkan Artificial Intelligence sebagai mitra pedagogis (Ahmad et al., 2023; Miao & Holmes, 2023). Kesenjangan kompetensi guru masih lebar, terutama di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T), yang berimplikasi pada ketimpangan kualitas pembelajaran Fisika secara nasional. Di sisi lain, Program Studi Pendidikan Fisika turut menghadapi tantangan berupa rendahnya budaya riset mahasiswa, orientasi kurikulum yang belum sepenuhnya mengakomodasi computational thinking dan literasi AI, serta lemahnya kolaborasi dengan industri dan lembaga riset seperti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dalam menghasilkan inovasi pembelajaran Fisika berbasis teknologi mutakhir.

Kajian-kajian terdahulu mengenai Society 5.0 dalam pendidikan sains umumnya masih bersifat parsial: sebagian berfokus pada penguatan literasi sains semata tanpa mengaitkannya secara eksplisit dengan integrasi Artificial Intelligence, sebagian lain membahas potensi AI dalam pendidikan secara umum tanpa spesifikasi pada karakteristik keilmuan Fisika yang sarat konsep abstrak dan representasi matematis. Riset yang secara utuh menghubungkan transformasi Society 5.0, integrasi AI generatif dan Intelligent Tutoring System, penguatan kompetensi guru berbasis TPACK-AI, serta proyeksi kebijakan hingga Indonesia Emas 2045 dalam konteks pendidikan Fisika Indonesia relatif masih terbatas. Kesenjangan (research gap) inilah yang berupaya diisi oleh artikel konseptual ini.

Kebaruan (novelty) artikel ini terletak pada tiga hal. Pertama, integrasi kerangka teori Society 5.0 dan Education 5.0 dengan teori belajar klasik (Piaget, Vygotsky, Bruner, Ausubel) dan teori pembelajaran Fisika berbasis riset (Hestenes, Hake, McDermott) dalam satu kerangka analitis yang koheren. Kedua, perumusan roadmap pendidikan Fisika Indonesia yang eksplisit mengarah ke tahun 2045 dengan tahapan yang dapat diadaptasi oleh pemangku kepentingan pendidikan pada berbagai jenjang. Ketiga, penekanan pada dimensi etika dan keberlanjutan (Green Physics Education) yang relatif jarang dibahas secara mendalam dalam literatur sejenis.

Urgensi artikel ini didasarkan pada kenyataan bahwa jendela bonus demografi Indonesia diproyeksikan mencapai puncaknya pada dekade 2030-an, sehingga kualitas literasi sains generasi yang dididik hari ini akan menentukan daya saing bangsa pada tahun 2045. Tanpa transformasi pendidikan Fisika yang terarah, terdapat risiko nyata bahwa Indonesia akan tertinggal dalam penguasaan sains dan teknologi yang menjadi fondasi era Society 5.0. Berdasarkan uraian tersebut, artikel ini bertujuan: (1) menganalisis kondisi aktual pendidikan Fisika Indonesia dalam bingkai tantangan Society 5.0; (2) mengkaji peran, peluang, tantangan, dan etika Artificial Intelligence dalam pembelajaran Fisika; (3) merumuskan model pembelajaran Fisika masa depan berbasis teori belajar yang relevan; serta (4) menyusun roadmap dan rekomendasi kebijakan menuju Indonesia Emas 2045.

METODE

Artikel ini disusun sebagai kajian konseptual (conceptual paper) melalui pendekatan critical literature review, bukan penelitian empiris lapangan, sehingga data yang digunakan bersumber dari literatur ilmiah dan dokumen kebijakan yang telah dipublikasikan. Sumber data mencakup tiga kategori utama. Pertama, laporan resmi lembaga internasional dan nasional, yaitu hasil PISA 2022 yang dipublikasikan OECD, dokumen kebijakan dan rekomendasi UNESCO terkait etika dan panduan Artificial Intelligence dalam pendidikan, dokumen Society 5.0 dari Keidanren (Jepang), serta kebijakan Kurikulum Merdeka dari Kemendikbudristek/Kemendikdasmen. Kedua, artikel jurnal terindeks Scopus dan SINTA periode 2021-2026 yang membahas miskonsepsi Fisika, literasi sains, Education 5.0, dan integrasi Artificial Intelligence dalam pembelajaran sains. Ketiga, sumber teori klasik yang menjadi fondasi pedagogis, yaitu karya Piaget, Vygotsky, Bruner, Ausubel, Bloom (revisi Anderson & Krathwohl), serta hasil riset pendidikan Fisika oleh Hestenes, Hake, dan McDermott.

Proses pencarian literatur dilakukan melalui basis data akademik seperti Google Scholar, Scopus, SINTA (Kemendikbudristek), ERIC, dan repositori resmi OECD serta UNESCO, dengan menggunakan kombinasi kata kunci antara lain "Society 5.0", "Education 5.0", "physics education", "pendidikan Fisika", "artificial intelligence in education", "literasi sains", dan "PISA science literacy Indonesia". Rentang tahun publikasi dibatasi pada 2021-2026 untuk artikel jurnal guna menjaga kemutakhiran data, kecuali untuk rujukan teori belajar klasik yang secara sengaja tetap digunakan karena kedudukannya sebagai landasan konseptual yang telah teruji lintas generasi riset pendidikan Fisika.

Seleksi literatur dilakukan melalui tahapan penyaringan bertingkat: (1) pemeriksaan relevansi judul dan abstrak terhadap tema Society 5.0, Artificial Intelligence, dan pendidikan Fisika; (2) verifikasi kredibilitas sumber, yakni memprioritaskan jurnal terindeks Scopus/SINTA dan terbitan resmi lembaga (OECD, UNESCO, Kemendikbudristek) dibandingkan sumber sekunder yang tidak dapat ditelusuri asal-usulnya; (3) pemeriksaan kemutakhiran data, khususnya untuk statistik PISA dan capaian literasi sains, agar mencerminkan kondisi terbaru yang tersedia; serta (4) pengecualian sumber yang tidak memiliki keterkaitan langsung dengan konteks pendidikan Fisika atau Society 5.0 meskipun relevan secara tematik umum. Literatur yang lolos seleksi kemudian dibaca secara menyeluruh untuk memastikan keselarasan temuan dengan kerangka konseptual artikel.

Sintesis literatur dilakukan secara tematik (thematic synthesis), yaitu mengelompokkan temuan dari berbagai sumber ke dalam tema-tema besar yang menjadi struktur pembahasan artikel: hakikat Society 5.0 dan Education 5.0, kondisi aktual pendidikan Fisika Indonesia, peran dan tantangan Artificial Intelligence, model pembelajaran Fisika masa depan, kompetensi guru abad ke-21, serta roadmap kebijakan menuju 2045. Pada setiap tema, temuan dari berbagai sumber dibandingkan dan dirajut secara kritis untuk mengidentifikasi titik temu, kesenjangan (research gap), maupun kontradiksi antar-temuan, sebelum kemudian diintegrasikan dengan kerangka teori belajar klasik dan teori pembelajaran Fisika berbasis riset untuk menghasilkan argumentasi konseptual yang koheren dan proyeksi roadmap kebijakan yang aplikatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hakikat Society 5.0 dan Pendidikan Masa Depan

Society 5.0 secara konseptual merupakan kelanjutan evolusi masyarakat pasca Society 4.0 (masyarakat informasi), yang oleh (Federation), 2016) didefinisikan sebagai masyarakat berpusat pada manusia yang menyeimbangkan kemajuan ekonomi dengan penyelesaian masalah sosial melalui sistem yang mengintegrasikan secara mendalam ruang siber dan ruang fisik. Konsep human-centered technology menjadi inti gagasan ini: teknologi tidak diposisikan sebagai pengganti manusia, melainkan sebagai instrumen yang membebaskan manusia dari pekerjaan repetitif sehingga kreativitas dan imajinasi dapat dioptimalkan (Federation), 2019).

Dalam ranah pendidikan, gagasan ini diterjemahkan menjadi Education 5.0, yang oleh (Ahmad et al., 2023) dicirikan sebagai paradigma pembelajaran berpusat pada peserta didik (learner-centric) yang memanfaatkan teknologi pemungkin seperti Artificial Intelligence, Internet of Things (IoT), Big Data, Cloud Computing, Virtual Laboratory, Augmented Reality, hingga Digital Twin untuk personalisasi, peningkatan keterlibatan, dan perluasan akses

pendidikan. Internet of Things memungkinkan sensor dan perangkat laboratorium Fisika riil terhubung secara daring sehingga data eksperimen dapat direkam dan dianalisis secara kolaboratif lintas sekolah. Big Data dan Cloud Computing memungkinkan analitik pembelajaran (learning analytics) berskala besar untuk memetakan pola kesulitan belajar peserta didik secara individual maupun agregat. Virtual Laboratory seperti PhET Interactive Simulations menyediakan lingkungan eksperimen semu yang memungkinkan peserta didik memanipulasi variabel Fisika tanpa keterbatasan alat maupun risiko keselamatan, sementara Augmented Reality memungkinkan visualisasi konsep abstrak seperti medan listrik atau gelombang elektromagnetik dalam representasi tiga dimensi yang dapat dieksplorasi secara interaktif. Adapun Digital Twin, yang merepresentasikan replika virtual dari sistem fisik nyata, berpotensi dikembangkan untuk mensimulasikan eksperimen Fisika kompleks seperti dinamika fluida atau sistem osilasi sebelum dilakukan secara riil di laboratorium.

UNESCO (UNESCO, 2021) dan (Miao & Holmes, 2023) menegaskan bahwa transformasi pendidikan di era digital harus tetap berlandaskan pada nilai kemanusiaan, inklusi, dan agensi peserta didik (student agency), bukan semata-mata determinisme teknologi. Prinsip ini relevan bagi pendidikan Fisika Indonesia, sebab penguasaan teknologi mutakhir tanpa penguatan nalar ilmiah dan literasi sains justru berisiko melahirkan generasi yang konsumtif secara teknologis namun rapuh secara epistemik. Dengan demikian, hakikat pendidikan Fisika masa depan dalam bingkai Society 5.0 bukan sekadar digitalisasi alat bantu ajar, melainkan rekonstruksi ekosistem belajar yang menempatkan manusia peserta didik dan guru sebagai pusat pengambilan keputusan pedagogis, dengan teknologi berperan sebagai pengganda kapasitas (capacity multiplier) bagi eksplorasi konsep Fisika yang lebih mendalam, kontekstual, dan berbasis data.

2. Kondisi Aktual Pendidikan Fisika Indonesia

Analisis kritis terhadap kondisi aktual pendidikan Fisika Indonesia menunjukkan sejumlah persoalan struktural yang saling terkait. Pertama, rendahnya minat belajar Fisika berakar dari persepsi peserta didik bahwa Fisika merupakan mata pelajaran yang sulit, abstrak, dan sarat formula matematis tanpa keterkaitan yang jelas dengan kehidupan sehari-hari. Persepsi ini diperkuat oleh praktik pembelajaran yang masih didominasi metode ceramah dan latihan soal algoritmik dengan variasi strategi yang minim. Kedua, miskonsepsi Fisika terbukti persisten pada berbagai topik krusial gaya dan gerak, usaha dan energi, suhu dan kalor, listrik dan magnet dan cenderung bertahan meskipun peserta didik telah melalui pembelajaran formal berulang (Suparno, 2013). Instrumen diagnostik seperti Four-Tier Diagnostic Test dan Certainty of Response Index (CRI) banyak digunakan peneliti Indonesia untuk memetakan miskonsepsi tersebut, namun temuan diagnostik ini belum secara sistematis ditindaklanjuti dengan remediasi berbasis data pada skala nasional.

Ketiga, laboratorium Fisika di banyak sekolah, khususnya di luar Jawa, belum dimanfaatkan secara optimal akibat keterbatasan peralatan, minimnya tenaga laboran terlatih, dan alokasi waktu praktikum yang tergerus oleh tuntutan penyelesaian materi ujian. Keempat, kemampuan literasi sains peserta didik Indonesia berdasarkan PISA 2022 menunjukkan bahwa hanya sekitar 34,16 persen peserta didik mencapai level 2 (kompetensi minimum), jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 75,51 persen (GoodStats, 2025).

Kesenjangan ini semakin lebar pada peserta didik dari kuintil sosioekonomi terbawah, yang secara proporsional merupakan kelompok terbesar keempat secara global setelah Kamboja, Maroko, dan Guatemala (GoodStats, 2025), mengindikasikan bahwa persoalan literasi sains di Indonesia berkelindan erat dengan ketimpangan akses dan kualitas pendidikan antarwilayah.

Kelima, dari sisi kompetensi guru, banyak guru Fisika masih mengandalkan pendekatan pembelajaran konvensional karena keterbatasan pelatihan berkelanjutan mengenai strategi pembelajaran aktif maupun pemanfaatan teknologi digital. Keenam, kurikulum meskipun telah bertransformasi melalui Kurikulum Merdeka yang menekankan Profil Pelajar Pancasila dan pembelajaran berdiferensiasi masih menghadapi tantangan implementasi di lapangan akibat kesiapan guru yang tidak merata dan perubahan kebijakan yang relatif sering sehingga guru kesulitan beradaptasi secara mendalam. Ketujuh, praktik asesmen Fisika di sekolah masih didominasi tes tertulis berbasis hafalan rumus, belum sepenuhnya mengarah pada asesmen otentik yang mengukur keterampilan proses sains dan penalaran ilmiah. Kedelapan, budaya hafalan (*rote memorization*) tetap menjadi warisan pedagogis yang sulit dihilangkan karena berkelindan dengan orientasi ujian/asesmen standar terhadap capaian skor. Kesembilan, riset mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika di Indonesia relatif masih minim dari sisi kuantitas maupun kualitas publikasi, khususnya riset terkait inovasi pembelajaran berbasis teknologi digital dan kecerdasan buatan.

Perbandingan dengan negara maju seperti Singapura menunjukkan pola yang kontras: pada PISA 2022, sekitar 41 persen peserta didik Singapura mencapai level 5-6 pada kompetensi matematika, dibandingkan dengan proporsi yang nyaris nihil di Indonesia (detikEdu, 2024). Negara-negara dengan capaian tinggi secara konsisten menginvestasikan sumber daya pada pelatihan guru berkelanjutan, laboratorium sains yang mutakhir, serta kurikulum yang mengintegrasikan *computational thinking* sejak jenjang dasar sebuah pola yang perlu direplikasi secara kontekstual oleh Indonesia.

3. Artificial Intelligence dalam Pendidikan Fisika

Kehadiran Artificial Intelligence generatif seperti ChatGPT, Gemini, Copilot, dan Claude telah membuka babak baru dalam pembelajaran Fisika. Model-model bahasa besar tersebut dapat berfungsi sebagai mitra dialogis yang membantu peserta didik memahami konsep abstrak melalui penjelasan berlapis dan analogi, sekaligus membantu guru menyusun perangkat pembelajaran, soal Higher Order Thinking Skills (HOTS), dan skenario eksperimen secara lebih efisien. Di sisi laboratorium virtual, PhET Interactive Simulations telah lama digunakan secara luas dalam pembelajaran Fisika Indonesia untuk memvisualisasikan fenomena seperti gerak harmonik, rangkaian listrik, dan gelombang. Adapun Intelligent Tutoring System (ITS) memanfaatkan algoritma adaptif untuk menyesuaikan tingkat kesulitan soal dan umpan balik berdasarkan pola respons peserta didik secara individual, sementara Adaptive Learning System memungkinkan jalur belajar yang berbeda-beda (*personalized learning path*) sesuai kecepatan dan gaya belajar masing-masing peserta didik.

Learning Analytics turut menjadi instrumen penting dalam Education 5.0, memungkinkan guru memetakan pola keterlibatan, waktu pengerjaan, dan jenis kesalahan

peserta didik secara granular sehingga intervensi pedagogis dapat dilakukan secara tepat sasaran. Demikian pula AI Assessment memungkinkan penilaian otomatis terhadap jawaban uraian dan estimasi tingkat pemahaman konseptual melalui analisis pola bahasa, meskipun akurasi untuk soal Fisika yang menuntut penalaran multi-representasi (verbal, matematis, grafis, diagram) masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Namun demikian, integrasi AI dalam pembelajaran Fisika tidak lepas dari tantangan dan dilema etis. (Miao & Holmes, 2023) melalui *Guidance for Generative AI in Education and Research* yang diterbitkan UNESCO menekankan bahwa penggunaan AI generatif harus berlandaskan pendekatan human-centered, memperhatikan privasi data, mencegah bias algoritmik, serta menjaga peran esensial pendidik dalam interaksi pembelajaran. Risiko ketergantungan berlebihan (over-reliance) terhadap AI generatif berpotensi melemahkan kemampuan bernalar mandiri peserta didik apabila AI digunakan sekadar sebagai mesin penjawab tanpa proses verifikasi dan refleksi kritis. Selain itu, kesenjangan infrastruktur digital antarwilayah di Indonesia berisiko memperlebar kesenjangan pembelajaran (digital divide) apabila integrasi AI tidak disertai kebijakan pemerataan akses. (UNESCO, 2021) dalam *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence* menggarisbawahi prinsip tata kelola AI yang berbasis hak asasi manusia, termasuk transparansi, akuntabilitas, dan pengawasan manusia (human oversight), yang relevan diadopsi dalam kebijakan pemanfaatan AI di satuan pendidikan Fisika Indonesia.

Masa depan integrasi AI dalam pembelajaran Fisika diproyeksikan bergerak ke arah *Personalized Learning* yang lebih matang, di mana sistem AI mampu mengidentifikasi miskonsepsi peserta didik secara mendekati waktu nyata berdasarkan pola kesalahan pada soal diagnostik, kemudian menyajikan skenario remediasi yang dipersonalisasi. Namun demikian, keberhasilan integrasi tersebut sangat bergantung pada kesiapan literasi AI guru, ketersediaan infrastruktur, serta kerangka etis yang jelas agar teknologi tetap menjadi pendukung, bukan pengganti, proses berpikir ilmiah peserta didik.

4. Model Pembelajaran Fisika Masa Depan

Transformasi pembelajaran Fisika ke depan perlu berpijak pada kerangka teori belajar yang telah teruji secara empiris sekaligus responsif terhadap tuntutan *Society 5.0*. Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) dan perluasannya menjadi STEAM (dengan penambahan unsur Arts) menawarkan integrasi lintas disiplin yang memungkinkan peserta didik memahami Fisika tidak sebagai kumpulan rumus terisolasi, melainkan sebagai fondasi pemecahan masalah rekayasa dan teknologi kontekstual. Computational Thinking, yang mencakup dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, dan penyusunan algoritma, menjadi keterampilan esensial dalam pembelajaran Fisika modern, khususnya dalam pemodelan fenomena fisis menggunakan simulasi komputer.

Model Inquiry Learning, Project Based Learning (PjBL), Problem Based Learning (PBL), dan Challenge Based Learning menawarkan pergeseran dari pembelajaran pasif menuju eksplorasi aktif berbasis masalah otentik, sejalan dengan gagasan *interactive engagement* yang dirumuskan (Hake, 1998) berdasarkan analisis terhadap ribuan mahasiswa fisika dasar, yang menunjukkan bahwa metode pembelajaran interaktif menghasilkan gain konseptual jauh lebih tinggi dibandingkan pengajaran tradisional berbasis ceramah. Temuan ini diperkuat oleh pengembangan instrumen *Force Concept Inventory*

oleh (Hestenes et al., 1992) yang menjadi rujukan global untuk mengukur pemahaman konseptual mekanika Newton, serta kajian (McDermott, 1991) yang menegaskan pentingnya penelitian berbasis bukti (research-based) dalam merancang kurikulum Fisika introduktori agar selaras dengan cara berpikir alami peserta didik.

Dari perspektif psikologi belajar, teori (Piaget, 1952) mengenai tahapan perkembangan kognitif menegaskan pentingnya kesesuaian representasi konsep Fisika dengan tahap operasional formal peserta didik remaja, sementara teori sosiokultural (Vygotsky, 1978) menekankan peran scaffolding dan Zone of Proximal Development dalam pembelajaran kolaboratif Fisika, misalnya melalui diskusi kelompok memecahkan soal eksperimen. (Bruner, 1960) melalui konsep discovery learning menggarisbawahi pentingnya peserta didik menemukan sendiri prinsip Fisika melalui eksplorasi terbimbing, sedangkan (Ausubel, 1968) menekankan pembelajaran bermakna (meaningful learning) yang mengaitkan konsep baru dengan struktur kognitif yang telah dimiliki peserta didik, sebuah prinsip yang sangat relevan untuk mengatasi miskonsepsi Fisika yang bersifat laten. Taksonomi Bloom hasil revisi (Anderson & Krathwohl, 2001) turut memberikan kerangka evaluatif untuk memastikan pembelajaran Fisika bergerak melampaui aspek mengingat dan memahami menuju aspek menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta dimensi kognitif yang esensial dalam literasi sains abad ke-21.

Engineering Design Process, yang mencakup tahapan identifikasi masalah, perancangan solusi, prototipe, dan evaluasi iteratif, dapat diintegrasikan dalam praktikum Fisika untuk menghubungkan konsep teoretis dengan penerapan rekayasa nyata, misalnya dalam proyek perancangan alat sederhana berbasis prinsip mekanika atau kelistrikan. Kombinasi model-model tersebut, jika dipadukan dengan teknologi Society 5.0 seperti simulasi virtual dan analitik pembelajaran, berpotensi menciptakan ekosistem belajar Fisika yang menumbuhkan Scientific Literacy secara holistik: kemampuan menjelaskan fenomena secara ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, serta menafsirkan data dan bukti secara kritis.

5. Kompetensi Guru Pendidikan Fisika Tahun 2045

Menyongsong tahun 2045, kompetensi guru Fisika dituntut bertransformasi melampaui penguasaan Pedagogical Knowledge dan Content Knowledge semata. Kerangka TPACK (Technological Pedagogical and Content Knowledge) menjadi fondasi penting yang mengintegrasikan penguasaan materi Fisika, strategi pedagogis, dan kemampuan teknologi secara simultan, bukan sebagai tiga domain terpisah. Namun demikian, di era Society 5.0, kerangka TPACK perlu diperluas dengan penguatan AI Literacy kemampuan memahami cara kerja dasar, potensi, dan keterbatasan sistem Artificial Intelligence, termasuk kemampuan mengevaluasi keluaran AI secara kritis alih-alih menerimanya secara mentah-mentah.

Data Literacy menjadi kompetensi krusial lainnya, mengingat guru masa depan akan semakin sering berhadapan dengan data hasil learning analytics yang perlu diinterpretasikan untuk pengambilan keputusan pedagogis. Digital Literacy secara umum juga mencakup kemampuan memanfaatkan platform pembelajaran daring, laboratorium virtual, dan alat kolaborasi digital secara etis dan produktif. Selain kompetensi teknis tersebut, guru Fisika masa depan juga dituntut memiliki Research Skill yang memadai untuk melakukan penelitian

tindakan kelas maupun kolaborasi riset dengan program studi kependidikan dan lembaga riset seperti BRIN, sehingga praktik pembelajaran senantiasa berbasis bukti (evidence-based) dan terus diperbarui sesuai perkembangan riset pendidikan Fisika terkini.

Kompetensi Leadership dan Entrepreneurship turut menjadi bagian penting dari profil guru masa depan, mengingat guru diharapkan mampu menginisiasi inovasi pembelajaran, membangun jejaring kolaborasi lintas sekolah maupun lintas negara, serta mengembangkan sumber daya pembelajaran yang dapat memberi nilai tambah bagi satuan pendidikan. Adapun Global Citizenship menuntut guru memiliki wawasan lintas budaya dan kepekaan terhadap isu-isu global seperti perubahan iklim dan keberlanjutan, yang dapat diintegrasikan dalam konten pembelajaran Fisika melalui pendekatan kontekstual, misalnya kajian energi terbarukan atau efisiensi energi. Kombinasi kompetensi tersebut Pedagogical Knowledge, Content Knowledge, TPACK, Computational Thinking, AI Literacy, Data Literacy, Digital Literacy, Research Skill, Leadership, Entrepreneurship, dan Global Citizenship membentuk profil guru Fisika Indonesia Emas 2045 yang tidak hanya berperan sebagai penyampai materi, melainkan sebagai desainer pengalaman belajar (learning experience designer) yang adaptif terhadap perubahan teknologi dan kebutuhan peserta didik yang terus berevolusi.

6. Roadmap Pendidikan Fisika Indonesia Menuju Indonesia Emas 2045

Roadmap transformasi pendidikan Fisika Indonesia menuju Indonesia Emas 2045 dapat disusun dalam tiga fase besar yang saling berkesinambungan. Fase pertama (2025-2030) berfokus pada penguatan fondasi: transformasi kurikulum Fisika agar secara eksplisit mengintegrasikan computational thinking dan literasi AI dasar sejak jenjang sekolah menengah pertama, reformasi pembelajaran dari model ceramah menuju inquiry dan project based learning secara bertahap, serta penguatan laboratorium digital melalui penyediaan akses simulasi virtual seperti PhET di seluruh sekolah, termasuk daerah 3T, melalui skema subsidi konektivitas internet dan perangkat. Pada fase ini, peningkatan kualitas dosen Pendidikan Fisika turut menjadi prioritas melalui program studi lanjut, sertifikasi kompetensi AI, dan insentif riset kolaboratif dengan BRIN.

Fase kedua (2030-2038) menitikberatkan pada integrasi teknologi secara lebih mendalam: pengembangan Smart Laboratory yang menggabungkan sensor IoT dengan eksperimen Fisika riil sehingga data eksperimen dapat dianalisis secara kolaboratif lintas sekolah, penerapan Smart Classroom yang memanfaatkan Intelligent Tutoring System untuk personalisasi pembelajaran, serta kolaborasi industri yang lebih intensif dalam pengembangan kurikulum vokasional dan magang riset bagi mahasiswa Pendidikan Fisika. Pada fase ini pula, prinsip Green Physics Education perlu diarusutamakan, yakni pengintegrasian isu energi terbarukan, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan ke dalam materi ajar Fisika, sejalan dengan komitmen global terhadap pembangunan berkelanjutan.

Fase ketiga (2038-2045) diarahkan pada pematangan ekosistem Open Science dalam pendidikan Fisika Indonesia, di mana hasil riset mahasiswa dan dosen Pendidikan Fisika dipublikasikan secara terbuka dan dapat diakses lintas institusi untuk mempercepat sirkulasi pengetahuan pedagogis. Pada fase ini, guru dan dosen Fisika Indonesia diharapkan telah memiliki kompetensi TPACK-AI yang matang, mampu berperan sebagai fasilitator pembelajaran adaptif berbasis data, serta mampu berkontribusi pada riset pendidikan Fisika

bertaraf internasional. Keberhasilan roadmap ini pada akhirnya bergantung pada sinergi lintas sektor: pemerintah sebagai regulator dan penyedia infrastruktur, perguruan tinggi sebagai produsen inovasi pedagogis dan SDM guru berkualitas, sekolah sebagai ruang implementasi, serta industri dan lembaga riset sebagai mitra strategis dalam menjembatani teori dan praktik. Tanpa sinergi tersebut, roadmap ideal ini berisiko hanya menjadi dokumen normatif tanpa dampak nyata terhadap kualitas pembelajaran Fisika di ruang kelas.

SIMPULAN

Artikel ini menyimpulkan bahwa pendidikan Fisika di era Society 5.0 memerlukan transformasi menuju pembelajaran adaptif, kolaboratif, berbasis riset, dan didukung teknologi secara etis untuk mengatasi rendahnya literasi sains, miskonsepsi Fisika, serta keterbatasan kompetensi guru dan infrastruktur. Oleh karena itu, penguatan kompetensi guru, pemerataan sarana digital, dan penerapan AI secara bertanggung jawab perlu menjadi prioritas. Penelitian selanjutnya disarankan menguji efektivitas teknologi berbasis AI dalam pembelajaran Fisika serta mengembangkan instrumen AI Literacy dan TPACK-AI guna mendukung peningkatan kualitas pendidikan menuju Indonesia Emas 2045.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan artikel ini, khususnya kepada institusi tempat penulis bernaung serta para akademisi yang telah memberikan masukan selama proses penyusunan naskah. Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus dari lembaga pemerintah, komersial, maupun organisasi nirlaba.

DAFTAR PUSTAKA

- Afni, N., Halim, A., Evendi, Herliana, F., & Halim, L. (2024). Correlation analysis of misconceptions on motivation, learning outcomes, and critical thinking skills in physics learning. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 20(1), 1–12. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v20i1.46453>
- Ahmad, S., Umirzakova, S., Mujtaba, G., Amin, M. S., & Whangbo, T. (2023). Education 5.0: Requirements, enabling technologies, and future directions. In *arXiv*.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston.
- Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. Harvard University Press.
- Databoks. (2024). *PISA 2022: Kemampuan sains pelajar Indonesia turun*. <https://databoks.katadata.co.id/demografi/statistik/bb0129d1a143124/pisa-2022-kemampuan-sains-pelajar-indonesia-turun>
- detikEdu. (2024). *Skor PISA Indonesia ditarget setara negara OECD, diaspora RI usul belajar ini*. <https://www.detik.com/edu/sekolah/d-7695294/skor-pisa-indonesia-ditarget-setara-negara-oecd-diaspora-ri-usul-belajar-ini>
- Federation), K. (Japan B. (2016). *Toward the realization of the new economy and society:*

- Reform of the economy and society by the deepening of "Society 5.0."* Keidanren. Federation), K. (Japan B. (2019). *Toward the realization of Society 5.0 for SDGs*. <https://www.keidanren.or.jp/en/speech/2019/0101.html>
- GoodStats. (2025). *Mengulik hasil PISA 2022 Indonesia: Peringkat naik, tapi tren penurunan skor berlanjut*. <https://goodstats.id/article/mengulik-hasil-pisa-2022-indonesia-peringkat-naik-tapi-tren-penurunan-skor-berlanjut-m6XDt>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Kompas.id. (2023). *Hasil PISA 2022: Membandingkan realitas dan interpretasi pemerintah*. <https://www.kompas.id/baca/opini/2023/12/27/hasil-pisa-2022-membandingkan-realitas-dan-interpretasi-pemerintah>
- McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301–315. <https://doi.org/10.1119/1.16539>
- Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for Generative AI in Education and Research*. UNESCO.
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. International Universities Press.
- Suparno, P. (2013). *Miskonsepsi dan Perubahan Konsep dalam Pendidikan Fisika*. PT Grasindo.
- UNESCO. (2021). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. UNESCO.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Yusmar, F., & Fadilah, R. E. (2023). Analisis rendahnya literasi sains peserta didik Indonesia: Hasil PISA dan faktor penyebab. *LENSA (Lentera Sains): Jurnal Pendidikan IPA*, 13(1), 11–19. <https://doi.org/10.24929/lensa.v13i1.283>