

Pembelajaran STEAM di Perguruan Tinggi sebagai Strategi Pengembangan Kompetensi Industri 5.0: Sebuah Systematic Literature Review

Sri Hapsari

Universitas Indraprasta PGRI

INFO ARTICLES

Key Words:

STEAM Education; Industry 5.0; Higher Education; Digital Competence; Systematic Literature Review.



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstract: This study aims to examine the role of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) education in higher education as a strategy for developing Industry 5.0 competencies. A Systematic Literature Review (SLR) was conducted following the PRISMA 2020 guidelines by analyzing Scopus-indexed publications from 2019 to 2025 related to STEAM, digital transformation, artificial intelligence, sustainability, and Industry 5.0 competencies. The findings indicate that STEAM fosters digital literacy, computational thinking, creativity, innovation, collaboration, digital ethics, sustainability competencies, and human-centered skills. The integration of artificial intelligence further enhances learning effectiveness and graduate readiness for Industry 5.0 challenges. The novelty of this study lies in integrating STEAM education, Industry 5.0 competencies, and AI-driven digital transformation into a unified conceptual framework. This study contributes to the advancement of theoretical understanding and provides practical implications for curriculum development, higher education policy, and adaptive, sustainable, and human-centered learning design.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan menganalisis peran pembelajaran Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) di perguruan tinggi sebagai strategi pengembangan kompetensi Industri 5.0. Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) dengan pedoman PRISMA 2020 terhadap artikel terindeks Scopus periode 2019–2025 yang membahas STEAM, transformasi digital, kecerdasan buatan, keberlanjutan, dan kompetensi Industri 5.0. Hasil kajian menunjukkan bahwa STEAM berkontribusi dalam pengembangan literasi digital, computational thinking, kreativitas, inovasi, kolaborasi, etika digital, kompetensi keberlanjutan, dan human-centered skills. Integrasi kecerdasan buatan juga memperkuat efektivitas pembelajaran dalam mempersiapkan lulusan menghadapi tuntutan Industri 5.0. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi STEAM, kompetensi Industri 5.0, dan transformasi digital berbasis AI ke dalam satu kerangka konseptual terpadu. Studi ini berkontribusi pada penguatan landasan teoretis serta penyediaan implikasi praktis bagi pengembangan kurikulum, kebijakan pendidikan tinggi, dan desain pembelajaran yang adaptif, berkelanjutan, dan berpusat pada manusia.

Correspondence Address: Jl. Raya Tengah Kelurahan Gedong, Pasar Rebo - Jakarta Timur 13760, Indonesia; e-mail; srihapsari112@gmail.com

How to Cite (APA 6th Style): Hapsari, S. (2026). Pembelajaran STEM di Perguruan Tinggi sebagai Strategi Pengembangan Kompetensi Industri 5.0: Sebuah Systematic Literature Review. *Prosiding Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika*, 275-288.

Copyright: Sri Hapsari, (2026)

PENDAHULUAN

Transformasi digital mendorong perubahan paradigma dari Industri 4.0 menuju Industri 5.0. Jika Industri 4.0 berfokus pada otomatisasi, konektivitas, dan efisiensi produksi berbasis teknologi, maka Industri 5.0 menempatkan manusia sebagai pusat inovasi dengan mengintegrasikan kecanggihan teknologi, kreativitas manusia, keberlanjutan, dan kesejahteraan social (Nahavandi, 2019; Xu et al., 2021). Konsep ini menekankan kolaborasi antara manusia dan mesin cerdas untuk menciptakan sistem yang tidak hanya produktif, tetapi juga berorientasi pada nilai-nilai kemanusiaan dan pembangunan berkelanjutan (Longo et al., 2020).

Komisi Eropa melalui laporan *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry* menegaskan bahwa Industri 5.0 dibangun atas tiga pilar utama, yaitu *human-centricity*, keberlanjutan (*sustainability*), dan ketahanan (*resilience*) (Commission, 2021). Oleh karena itu, pengembangan sumber daya manusia tidak lagi hanya menitikberatkan pada penguasaan teknologi, tetapi juga mencakup kreativitas, kemampuan berpikir kritis, kolaborasi lintas disiplin, literasi digital, kemampuan adaptasi, kesadaran etis, dan tanggung jawab sosial. (Leng et al., 2022) menegaskan bahwa keberhasilan implementasi Industri 5.0 sangat bergantung pada kemampuan institusi pendidikan dalam mempersiapkan tenaga kerja yang mampu mengintegrasikan kompetensi teknologi dan kompetensi humanistik secara seimbang.

Dalam konteks pendidikan tinggi, perubahan tersebut menuntut transformasi pendekatan pembelajaran yang mampu menjembatani kebutuhan kompetensi multidimensional tersebut. Perguruan tinggi tidak lagi cukup berfokus pada transfer pengetahuan dan keterampilan teknis, melainkan harus mampu mengembangkan kompetensi abad ke-21 yang meliputi kreativitas, komunikasi, kolaborasi, pemecahan masalah kompleks, inovasi, dan pembelajaran sepanjang hayat (González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022; Deroncele-Acosta et al., 2023). Kompetensi tersebut merupakan fondasi utama bagi lulusan untuk dapat beradaptasi dan berkontribusi secara produktif dalam ekosistem Industri 5.0 yang semakin dinamis.

Salah satu pendekatan pembelajaran yang dinilai relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut adalah STEAM. Pendekatan STEAM merupakan pengembangan dari STEM dengan menambahkan unsur seni (*Arts*) sebagai sarana untuk meningkatkan kreativitas, inovasi, desain, empati, dan kemampuan berpikir divergen dalam menyelesaikan permasalahan dunia nyata. Integrasi seni dalam STEM dipandang penting karena kompetensi yang dibutuhkan pada era Industri 5.0 tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencakup kemampuan manusiawi yang sulit digantikan oleh mesin, seperti kreativitas, komunikasi, kolaborasi, dan pengambilan keputusan berbasis nilai (Deák & Kumar, 2024).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran STEAM berkontribusi signifikan terhadap pengembangan kompetensi abad ke-21 dan kesiapan menghadapi transformasi digital. Hasil *systematic literature review* yang dilakukan oleh (Deák & Kumar, 2024) menunjukkan bahwa implementasi STEAM mampu meningkatkan kompetensi digital, kemampuan inovasi, kolaborasi multidisipliner, serta kesadaran terhadap pembangunan berkelanjutan. Temuan tersebut sejalan dengan kajian (González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022) yang menegaskan bahwa kerangka Education 4.0 menempatkan keterampilan digital, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, dan kemampuan belajar sepanjang hayat sebagai kompetensi utama yang harus dimiliki lulusan perguruan tinggi.

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian STEAM berkembang secara pesat pada berbagai konteks pendidikan. (Yulianti et al., 2024) menemukan bahwa implementasi STEAM dalam pembelajaran sains banyak memanfaatkan pendekatan *project-based learning*, *inquiry learning*, dan *problem-based learning* untuk meningkatkan keterlibatan peserta didik. Sementara itu, (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2024) mengidentifikasi bahwa STEAM memiliki potensi besar dalam pendidikan guru berbasis keberlanjutan (*sustainability*), meskipun kesiapan pendidik dan integrasi lintas disiplin masih menjadi tantangan utama.

Perkembangan teknologi digital juga mendorong munculnya berbagai inovasi dalam implementasi STEAM. Perkembangan kecerdasan buatan telah membuka peluang baru dalam

pembelajaran STEM dan STEAM melalui personalisasi pembelajaran, analisis data pendidikan, dan sistem pendukung keputusan berbasis AI (Abuhassna et al., 2024). Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital dan pendekatan STEAM memiliki potensi besar untuk mendukung pengembangan kompetensi yang dibutuhkan pada era Industri 5.0.

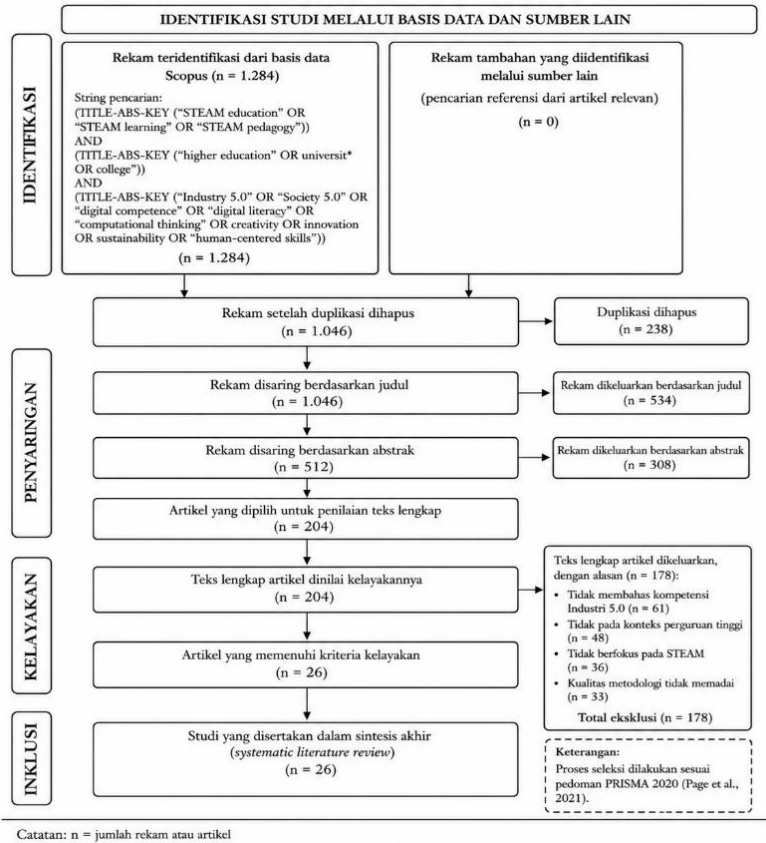
Meskipun demikian, kajian literatur yang ada masih menunjukkan beberapa *research gaps* yang signifikan. Pertama, sebagian besar penelitian terdahulu membahas STEAM dalam konteks yang terpisah, seperti pendidikan sains (Yulianti et al., 2024), pendidikan guru berbasis keberlanjutan (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2024), dan pengembangan kompetensi digital (Deák & Kumar, 2024). Belum terdapat sintesis komprehensif yang secara khusus mengkaji bagaimana pembelajaran STEAM di perguruan tinggi berkontribusi terhadap pengembangan kompetensi Industri 5.0. Kedua, perkembangan konsep Industri 5.0 memperluas cakupan kompetensi yang dibutuhkan lulusan perguruan tinggi, meliputi kreativitas, inovasi, literasi digital, etika teknologi, keberlanjutan, *human-centered skills*, dan kemampuan kolaboratif lintas disiplin (Leng et al., 2022; Commission, 2021). Namun demikian, penelitian yang mengintegrasikan seluruh dimensi kompetensi tersebut dalam satu kerangka analisis STEAM masih sangat terbatas. Akibatnya, belum tersedia model konseptual yang mampu menjelaskan hubungan antara implementasi STEAM dan pengembangan kompetensi Industri 5.0 secara menyeluruh. Ketiga, meskipun konsep Industri 5.0 telah berkembang pesat dalam bidang manufaktur, rekayasa sistem, dan transformasi digital (Xu et al., 2021; Leng et al., 2022), integrasinya dalam kajian pendidikan tinggi masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian berfokus pada aspek teknologi atau pengembangan kompetensi tertentu secara parsial, sedangkan kajian yang secara komprehensif menghubungkan pembelajaran STEAM dengan pengembangan kompetensi Industri 5.0 masih sangat sedikit. Padahal, karakteristik STEAM yang mengintegrasikan sains, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika memiliki potensi besar untuk mengembangkan kompetensi *human-centered* yang menjadi inti paradigma Industri 5.0.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan *systematic literature review* mengenai pembelajaran STEAM di perguruan tinggi sebagai strategi pengembangan kompetensi Industri 5.0. Kajian ini mengidentifikasi tren penelitian, pendekatan pedagogis, bentuk integrasi teknologi, kompetensi yang dikembangkan, serta tantangan implementasi STEAM pada pendidikan tinggi. Selain itu, penelitian ini berupaya menyusun sintesis konseptual yang menjelaskan hubungan antara pembelajaran STEAM dan pengembangan kompetensi Industri 5.0. Kebaruan penelitian ini terletak pada dua aspek utama. Pertama, penelitian ini merupakan salah satu kajian sistematis yang secara eksplisit memposisikan STEAM sebagai strategi pengembangan kompetensi Industri 5.0 dalam konteks pendidikan tinggi. Kedua, penelitian ini mengintegrasikan berbagai dimensi kompetensi yang selama ini dikaji secara terpisah, seperti kompetensi digital, kreativitas, inovasi, keberlanjutan, dan *human-centered skills* ke dalam satu kerangka analisis terpadu.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mensintesis bukti empiris mengenai peran pembelajaran STEAM di perguruan tinggi sebagai strategi pengembangan kompetensi Industri 5.0. Metode SLR dipilih karena mampu menghasilkan sintesis pengetahuan yang sistematis, transparan, dan dapat direplikasi dibandingkan tinjauan literatur naratif konvensional (Snyder, 2019). Prosedur penelitian mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020) yang dikembangkan oleh (Page & McKenzie, 2021), meliputi empat tahap utama: *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *included*. Pedoman PRISMA 2020 dipilih karena merupakan standar internasional terkini yang direkomendasikan dalam pelaporan kajian sistematis pada bidang pendidikan, ilmu sosial, dan teknologi pendidikan. Penelusuran literatur dilakukan pada basis data Scopus karena memiliki cakupan publikasi internasional yang luas, kualitas indeksasi yang ketat, serta banyak digunakan dalam penelitian bibliometrik dan systematic review bidang pendidikan tinggi. Pencarian dilakukan

pada Mei 2026 terhadap artikel yang dipublikasikan pada rentang 2019–2025, yang dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. PRISMA 2020 pada Pembelajaran STEAM di Perguruan Tinggi sebagai Strategi Pengembangan Kompetensi Industri 5.0 (2019-2025)

HASIL

Penelitian ini menghasilkan lima tema kajian literatur yang dirinci pada table di bawah ini:

Tabel 1. Tema STEAM sebagai Pendekatan Interdisipliner untuk Pengembangan Kompetensi Industri 5.0

Penulis	Judul dan Tahun / Negara	Tujuan	Metode	Temuan Utama	Jurnal
González-Pérez & Ramírez-Montoya (2022)	<i>Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review / Mexico</i>	Mengidentifikasi komponen Education 4.0 dan keterampilan abad ke-21	Systematic Literature Review	Kreativitas, kolaborasi, komunikasi, dan literasi digital merupakan kompetensi utama yang dibutuhkan dalam transformasi Pendidikan	Sustainability
Deák & Kumar (2024)	<i>A Systematic Review of STEAM Education's Role in Nurturing Digital Competencies for Sustainable Innovations / International</i>	Menganalisis kontribusi STEAM terhadap kompetensi digital dan inovasi berkelanjutan	Systematic Literature Review	STEAM meningkatkan kompetensi digital, inovasi, kolaborasi multidisipliner, dan sustainability competencies	Education Sciences
Yulianti et al. (2024)	<i>State-of-the-Art of STEAM Education in Science Classrooms / Indonesia–Malaysia</i>	278endidikan 278en implementasi STEAM dalam	Systematic Literature Review	Project-based learning dan inquiry learning menjadi pendekatan dominan dalam implementasi STEAM	Open Education Studies

		pembelajaran sains			
Ariza & Olatunde-Aiyedun (2024)	<i>STEAM Pre- and In-Service Teacher Education for Sustainability / Spain–South Africa</i>	Menganalisis kesiapan 279endidikan guru berbasis STEAM untuk keberlanjutan	Systematic Literature Review	STEAM berkontribusi pada kompetensi keberlanjutan dan pembelajaran lintas disiplin, tetapi kesiapan dosen/guru masih menjadi tantangan	Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education
Nahavandi (2019)	<i>Industry 5.0—A Human-Centric Solution / Australia</i>	Menjelaskan konsep dan karakteristik Industri 5.0	Conceptual Paper	Industri 5.0 membutuhkan integrasi kompetensi teknologi dan kemampuan manusiawi seperti kreativitas dan kolaborasi	Sustainability
Xu et al. (2021)	<i>Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, Conception and Perception / China–Germany</i>	Menjelaskan evolusi Industri 4.0 menuju Industri 5.0	Conceptual Review	Industri 5.0 berfokus pada kolaborasi manusia dan teknologi cerdas	Journal of Manufacturing Systems
Leng et al. (2022)	<i>Industry 5.0: Prospect and Retrospect / China</i>	Mengidentifikasi arah perkembangan Industri 5.0	Literature Review	Kompetensi multidisipliner dan human-centered skills menjadi kebutuhan utama tenaga kerja masa depan	Journal of Manufacturing Systems

Tabel 2. Tema Pengembangan Kompetensi Digital dan Literasi Teknologi melalui Pembelajaran STEAM

Penulis	Judul dan Tahun / Negara	Tujuan	Metode	Temuan Utama	Jurnal
González-Pérez & Ramírez-Montoya (2022)	<i>Components of Education 4.0 in 21st Century Skills Frameworks: Systematic Review / Mexico</i>	Mengidentifikasi kompetensi utama dalam kerangka Education 4.0	Systematic Literature Review	Literasi digital, kreativitas, komunikasi, dan pembelajaran sepanjang hayat menjadi kompetensi utama abad ke-21	Sustainability
Deák & Kumar (2024)	<i>A Systematic Review of STEAM Education's Role in Nurturing Digital Competencies for Sustainable Innovations / International</i>	Menganalisis peran STEAM dalam pengembangan kompetensi digital	Systematic Literature Review	STEAM meningkatkan digital competence, innovation skills, collaboration, dan sustainability competencies	Education Sciences
Abuhassna et al. (2024)	<i>The Information Age for Education via Artificial Intelligence and Machine Learning / International</i>	Mengkaji perkembangan AI dan machine learning dalam Pendidikan	Bibliometric and Systematic Literature Review	AI mendukung personalisasi pembelajaran, analisis data, dan peningkatan literasi digital peserta didik	International Journal of Information and Education Technology
Akış (2024)	<i>Using Arduino in STEM Education: Bibliometric Analysis / Türkiye</i>	Menganalisis tren penggunaan Arduino dalam pendidikan STEM	Bibliometric Analysis	Arduino meningkatkan engineering design skills, computational thinking, dan problem-solving skills	Science Education International
Deroncelle-Acosta et al. (2023)	<i>Digital Transformation and Technological Innovation on Higher Education Post-COVID-19 / Peru</i>	Menganalisis transformasi digital pendidikan tinggi pascapandemi	Systematic Review	Transformasi digital menuntut penguatan kompetensi teknologi, inovasi, dan adaptabilitas mahasiswa	Sustainability
European Commission (2021)	<i>Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient</i>	Menetapkan arah kebijakan Industri 5.0	Policy Report	Literasi digital dan kemampuan beradaptasi dengan teknologi	Publications Office of the

	<i>European Industry / European Union</i>			merupakan kompetensi strategis tenaga kerja masa depan	European Union
López-Belmonte, J., Pozo-Sánchez, S., Fuentes-Cabrera, A., & Trujillo-Torres, J. M. (2023)	<i>Development of Computational Thinking through STEAM Methodologies in Higher Education (Spain)</i>	Menganalisis kontribusi metodologi STEAM dalam mengembangkan kemampuan computational thinking mahasiswa di pendidikan tinggi.	Penelitian kuantitatif dengan desain quasi-experimental	STEAM mendorong pengembangan kreativitas, kolaborasi, dan kemampuan berpikir kritis	Education Sciences

Tabel 3. Tema Model Implementasi dan Tantangan STEAM di Perguruan Tinggi untuk Industri 5.0

Penulis	Judul dan Tahun / Negara	Tujuan	Metode	Temuan Utama	Jurnal
Ariza & Olatunde-Aiyedun (2024)	<i>A Systematic Literature Review on STEAM Pre- and In-Service Teacher Education for Sustainability / Colombia–Nigeria</i>	Menganalisis kesiapan guru dan dosen dalam implementasi STEAM untuk keberlanjutan	Systematic Literature Review (207 studies)	Kurikulum pendidikan guru masih minim integrasi STEAM dan sustainability; dosen dan guru mengalami kesulitan menghubungkan teori dengan praktik nyata	Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education
Deroncele-Acosta et al. (2023) / Peru	<i>Digital Transformation and Technological Innovation on Higher Education Post-COVID-19</i>	Menganalisis transformasi digital pendidikan tinggi	Systematic Review	Transformasi digital memerlukan perubahan organisasi, pedagogi, dan kesiapan SDM	Sustainability
Torres-Rivera et al. (2025) / Mexico	<i>Ethical Integration of AI and STEAM Pedagogies in Higher Education: A Sustainable Learning Model for Society 5.0</i>	Mengembangkan model pembelajaran berbasis AI dan STEAM untuk Society 5.0	Qualitative Thematic Study	Kepemimpinan transformasional, etika digital, dan integrasi AI menjadi faktor kunci keberhasilan implementasi STEAM di pendidikan tinggi	Sustainability
Du et al. (2022) / Denmark	<i>University Teachers' Change Readiness to Implement Education for Sustainable Development Through Participation in a PBL-Based PD Program</i>	Mengkaji kesiapan dosen dalam menerapkan pendidikan berkelanjutan	Mixed Methods	Kesiapan dosen menjadi faktor utama keberhasilan inovasi pembelajaran interdisipliner	Sustainability
Cebrián, G., Junyent, M., & Mulà, I. (2020)	<i>Competencies in Education for Sustainable Development: Emerging Teaching and Research Developments / Spanyol</i>	Mengkaji perkembangan terkini penelitian dan praktik pengembangan kompetensi dalam Education for Sustainable Development (ESD)	Editorial Review / Literature-Based Synthesis	Kompetensi keberlanjutan menjadi fokus utama dalam penelitian ESD.	Sustainability
Milara & Orduña (2024) / Spain	<i>Possibilities and Challenges of STEAM Pedagogies</i>	Mengidentifikasi peluang dan tantangan implementasi STEAM	Literature Review	Tantangan utama meliputi pelatihan dosen, struktur kurikulum yang kaku, dan kesulitan asesmen STEAM	

Tabel 4. Tema Integrasi Artificial Intelligence dan Teknologi Cerdas dalam Pembelajaran STEAM

Penulis	Judul dan Tahun / Negara	Tujuan	Metode	Temuan Utama	Jurnal
Abuhassna et al. (2024)	<i>The Information Age for Education via Artificial Intelligence and Machine Learning / UAE</i>	Menganalisis perkembangan AI dan machine learning dalam pendidikan	Bibliometric & Systematic Literature Review	AI meningkatkan personalisasi pembelajaran, analisis data pendidikan, dan kompetensi digital	International Journal of Information and Education Technology
Torres-Rivera et al. (2025)	<i>Ethical Integration of AI and STEAM Pedagogies in Higher Education: A Sustainable Learning Model for Society 5.0 / Mexico</i>	Mengembangkan model integrasi AI dan STEAM untuk Society 5.0	Qualitative Study	Integrasi AI dan STEAM mendukung pengembangan literasi AI, etika digital, dan human-centered competencies	Sustainability
Tlili et al. (2023)	<i>What if the Devil is My Guardian Angel: ChatGPT as a Case Study of Using Chatbots in Education / International</i>	Mengkaji potensi dan risiko penggunaan AI generatif dalam pendidikan	Conceptual Analysis	AI generatif meningkatkan personalisasi belajar dan kreativitas, tetapi memerlukan literasi AI dan evaluasi kritis	Smart Learning Environments
Bond et al. (2024)	<i>A Meta-Systematic Review of Artificial Intelligence in Higher Education / International</i>	Menganalisis tren penelitian AI di pendidikan tinggi	Meta-Systematic Review	Keberhasilan implementasi AI memerlukan integrasi aspek teknologi, etika, dan pedagogi	International Journal of Educational Technology in Higher Education
Chiu et al. (2024)	<i>Competencies for the Digital Transformation in Education / Finland–Hong Kong</i>	Mengidentifikasi kompetensi yang diperlukan pada transformasi digital pendidikan	Systematic Review	AI literacy dan data literacy menjadi kompetensi penting masa depan	Computers & Education
Giang et al. (2025)	<i>Applying Augmented Reality Technology in STEM Education: A Bibliometric Analysis / Vietnam</i>	Menganalisis penggunaan AR dalam STEM	Bibliometric Analysis	AR meningkatkan visualisasi konsep, keterlibatan mahasiswa, dan pengalaman belajar berbasis teknologi	European Journal of Educational Research
Kasneci et al. (2023)	<i>ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education / Germany</i>	Mengkaji peluang dan risiko Large Language Models dalam pendidikan	Review Article	AI generatif dapat mendukung pembelajaran adaptif, tetapi memerlukan regulasi etika dan literasi digital yang kuat	Learning and Individual Differences

Tabel 5. Tema STEAM untuk Pengembangan Human Centered Skills dan Kompetensi Keberlanjutan

Penulis	Judul dan Tahun / Negara	Tujuan	Metode	Temuan Utama	Jurnal
Deák & Kumar (2024)	<i>A Systematic Review of STEAM Education's Role in Nurturing Digital Competencies for Sustainable Innovations / Hungary</i>	Menganalisis kontribusi STEAM terhadap inovasi berkelanjutan	Systematic Literature Review	STEAM meningkatkan kompetensi digital, kreativitas, kolaborasi, dan sustainability competencies	Education Sciences
Ariza & Olatunde-Aiyedun (2024)	<i>STEAM Pre- and In-Service Teacher Education for Sustainability / Colombia–Nigeria</i>	Menganalisis STEAM dalam pendidikan guru berbasis keberlanjutan	Systematic Literature Review	STEAM memperkuat sustainability awareness dan pembelajaran lintas disiplin	Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education
Torres-Rivera et al. (2025)	<i>Ethical Integration of AI and STEAM</i>	Mengembangkan model pembelajaran	Qualitative Study	STEAM mendukung pengembangan etika digital, empati, dan	Sustainability

	<i>Pedagogies in Higher Education / Mexico</i>	Society 5.0 berbasis AI dan STEAM		human-centered competencies	
Brundiers et al. (2021)	<i>Key Competencies in Sustainability in Higher Education / USA</i>	Mengkaji kompetensi utama keberlanjutan dalam pendidikan tinggi	Literature Review	Sustainability competencies meliputi anticipatory thinking, normative competence, dan strategic action	Sustainability Science
UNESCO (2021)	<i>Education for Sustainable Development for 2030 / International</i>	Menetapkan kerangka kompetensi keberlanjutan global	Policy Framework Analysis	Pendidikan harus mengembangkan kompetensi kognitif, sosial-emosional, dan perilaku untuk keberlanjutan	UNESCO Publishing
Longo et al. (2020)	<i>Value-Oriented and Ethical Technology Engineering in Industry 5.0 / Italy</i>	Mengembangkan perspektif human-centered pada Industri 5.0	Conceptual Paper	Human-centered skills dan etika menjadi fondasi inovasi pada Industri 5.0	Applied Sciences
Nahavandi (2019)	<i>Industry 5.0—A Human-Centric Solution / Australia</i>	Menjelaskan paradigma human-centric dalam Industri 5.0	Conceptual Analysis	Kreativitas, empati, dan kolaborasi merupakan kompetensi utama tenaga kerja masa depan	Sustainability
Wiek et al. (2021)	<i>Sustainability Competencies Revisited / Germany</i>	Memperbarui kerangka kompetensi keberlanjutan	Theoretical Review	Kompetensi keberlanjutan harus terintegrasi dalam seluruh kurikulum pendidikan tinggi	Sustainability Science

PEMBAHASAN

Tema 1. STEAM sebagai Pendekatan Interdisipliner untuk Pengembangan Kompetensi Industri 5.0

Hasil sintesis menunjukkan bahwa implementasi STEAM di pendidikan tinggi umumnya diwujudkan melalui *project-based learning*, *problem-based learning*, *design thinking*, dan pembelajaran berbasis tantangan (*challenge-based learning*). Pendekatan tersebut memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mengintegrasikan berbagai perspektif keilmuan dalam menyelesaikan permasalahan nyata, sehingga tidak hanya meningkatkan penguasaan konsep tetapi juga kreativitas, inovasi, kolaborasi, komunikasi, dan kemampuan berpikir kritis yang menjadi kompetensi inti Industri 5.0 (González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022; Deák & Kumar, 2024).

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa STEAM berfungsi sebagai pendekatan interdisipliner yang mampu mengintegrasikan kompetensi teknis dan nonteknis dalam satu ekosistem pembelajaran yang koheren. Hasil ini memperkuat paradigma Education 4.0 yang menempatkan pengembangan kompetensi abad ke-21 sebagai tujuan utama pendidikan tinggi (González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022). Dalam perspektif teori konstruktivisme sosial dan pembelajaran autentik, proses belajar akan menjadi lebih bermakna ketika mahasiswa terlibat secara aktif dalam penyelesaian masalah nyata yang membutuhkan integrasi berbagai disiplin ilmu. Karakteristik tersebut tampak jelas dalam implementasi STEAM yang menghubungkan pengetahuan sains, teknologi, rekayasa, seni, dan matematika dalam konteks yang relevan dengan kehidupan dan kebutuhan industri. Dengan demikian, temuan penelitian ini mengonfirmasi bahwa STEAM bukan sekadar pengembangan dari STEM melalui penambahan unsur seni, tetapi merupakan paradigma pembelajaran yang memungkinkan terbentuknya kompetensi multidimensional yang dibutuhkan pada era Industri 5.0.

Hasil sintesis juga menunjukkan bahwa STEAM memiliki kontribusi signifikan terhadap pengembangan kreativitas, inovasi, komunikasi, dan kolaborasi. Temuan ini sejalan dengan argumentasi (Nahavandi, 2019) yang menegaskan bahwa Industri 5.0 menuntut kemampuan manusia yang tidak mudah direplikasi oleh kecerdasan buatan maupun sistem otomatis, terutama kreativitas, empati, dan kemampuan pengambilan keputusan berbasis nilai. Dialog antara temuan penelitian ini

dan kajian (Leng et al., 2022) menunjukkan bahwa transformasi menuju Industri 5.0 tidak hanya membutuhkan tenaga kerja yang memiliki literasi teknologi tinggi, tetapi juga individu yang mampu mengintegrasikan kemampuan teknis dengan pemikiran kreatif dan humanistik. Oleh karena itu, keunggulan STEAM dibandingkan pendekatan STEM konvensional terletak pada kemampuannya mengembangkan keseimbangan antara kompetensi teknologi dan kapasitas manusiawi. Perspektif ini semakin relevan ketika dunia kerja menghadapi peningkatan penggunaan kecerdasan buatan yang menggeser kebutuhan kompetensi dari pekerjaan rutin menuju pekerjaan yang menuntut inovasi, kreativitas, dan kolaborasi lintas disiplin.

Temuan penelitian ini juga memperlihatkan bahwa implementasi STEAM di perguruan tinggi banyak dilakukan melalui *project-based learning*, *problem-based learning*, dan *inquiry learning*. Hasil tersebut konsisten dengan kajian (Yulianti et al., 2024) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek menjadi strategi dominan dalam implementasi STEAM karena mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa dan mendorong integrasi berbagai disiplin ilmu. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2024) yang menegaskan bahwa pembelajaran STEAM yang berbasis proyek dapat memperkuat kompetensi keberlanjutan dan kemampuan kolaboratif calon pendidik. Dalam perspektif teori *experiential learning*, pengalaman belajar yang diperoleh melalui proyek nyata memungkinkan mahasiswa mengonstruksi pengetahuan secara lebih mendalam dibandingkan pembelajaran yang berorientasi pada transfer informasi semata. Oleh karena itu, keberhasilan STEAM dalam mengembangkan kompetensi Industri 5.0 tidak hanya terletak pada isi kurikulumnya, tetapi juga pada desain pedagogis yang mendorong mahasiswa untuk mengalami, merefleksikan, dan menerapkan pengetahuan dalam konteks nyata.

Lebih jauh, hasil sintesis memperlihatkan bahwa STEAM memiliki hubungan yang erat dengan pengembangan *human-centered skills*, yang merupakan inti dari paradigma Industri 5.0. (Xu et al., 2021) menjelaskan bahwa pergeseran dari Industri 4.0 menuju Industri 5.0 ditandai oleh perubahan fokus dari teknologi menuju manusia sebagai pusat inovasi. Pandangan tersebut diperkuat oleh (Longo et al., 2020) yang menekankan pentingnya pendekatan *human-centric* dalam pengembangan teknologi masa depan. Dalam konteks ini, STEAM menjadi relevan karena tidak hanya mengajarkan bagaimana teknologi digunakan, tetapi juga bagaimana teknologi harus dirancang dan dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran STEAM berpotensi membentuk lulusan yang tidak hanya mampu menciptakan inovasi teknologi, tetapi juga memahami implikasi sosial, etika, dan keberlanjutan dari inovasi tersebut. Dengan demikian, STEAM berfungsi sebagai jembatan antara penguasaan teknologi dan pengembangan nilai-nilai kemanusiaan yang menjadi karakteristik utama Industri 5.0.

Meskipun demikian, penelitian ini menemukan bahwa sebagian besar studi terdahulu masih mengkaji kompetensi yang dihasilkan STEAM secara parsial. Sebagian penelitian berfokus pada kompetensi digital, sementara penelitian lain menyoroti kreativitas, inovasi, atau keberlanjutan secara terpisah. Kondisi ini menunjukkan adanya fragmentasi konseptual dalam literatur STEAM. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa masih terdapat kebutuhan untuk membangun kerangka konseptual yang mampu menjelaskan bagaimana berbagai kompetensi Industri 5.0 berkembang secara simultan melalui proses pembelajaran STEAM. Dari perspektif pengembangan teori, kondisi ini menunjukkan bahwa hubungan antara karakteristik STEAM dan kompetensi Industri 5.0 belum sepenuhnya terjelaskan secara sistematis. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi penting dengan mensintesis berbagai dimensi kompetensi tersebut ke dalam satu kerangka analisis yang lebih komprehensif.

Implikasi teoretis dari temuan ini adalah perlunya reposisi STEAM sebagai pendekatan strategis dalam pengembangan kompetensi Industri 5.0. Selama ini, STEAM sering dipandang sebagai model pembelajaran inovatif yang berfokus pada integrasi disiplin ilmu. Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa STEAM memiliki fungsi yang lebih luas sebagai mekanisme pengembangan kompetensi masa depan yang mencakup kreativitas, kolaborasi, inovasi, literasi digital, keberlanjutan, dan *human-centered skills*. Temuan ini memperluas kerangka konseptual Education 4.0 dengan memasukkan perspektif Industri 5.0 yang menekankan keseimbangan antara teknologi dan kemanusiaan. Dari sisi praktis, temuan penelitian ini memberikan implikasi bagi

perguruan tinggi dalam merancang kurikulum dan strategi pembelajaran yang lebih responsif terhadap kebutuhan industri masa depan. Integrasi STEAM tidak cukup dilakukan pada level mata kuliah tertentu, tetapi perlu diimplementasikan secara sistematis melalui kurikulum lintas disiplin, pembelajaran berbasis proyek, kolaborasi dengan industri, dan pemanfaatan teknologi digital yang mendukung inovasi. Perguruan tinggi juga perlu mengembangkan mekanisme asesmen yang mampu mengukur kompetensi multidimensional yang menjadi karakteristik Industri 5.0. Dengan demikian, implementasi STEAM dapat berkontribusi secara nyata dalam meningkatkan kesiapan lulusan menghadapi transformasi dunia kerja yang semakin kompleks dan dinamis.

Tema 2. Pengembangan Kompetensi Digital dan Literasi Teknologi melalui Pembelajaran STEAM

Transformasi menuju Industri 5.0 tidak hanya menuntut penguasaan teknologi digital, tetapi juga kemampuan untuk memanfaatkan teknologi secara kritis, kreatif, dan berkelanjutan. Dalam konteks tersebut, kompetensi digital menjadi salah satu kompetensi inti yang harus dimiliki lulusan perguruan tinggi. Komisi Eropa dan berbagai kajian Education 4.0 menempatkan literasi digital, pemecahan masalah berbasis teknologi, pemikiran komputasional (*computational thinking*), literasi data, dan kemampuan beradaptasi terhadap teknologi baru sebagai fondasi utama kesiapan tenaga kerja masa depan (Commission, 2021; González-Pérez & Ramírez-Montoya, 2022).

Pembelajaran STEAM berkontribusi secara signifikan terhadap pengembangan kompetensi digital karena mengintegrasikan penggunaan teknologi ke dalam aktivitas pembelajaran yang bersifat autentik, kolaboratif, dan berbasis pemecahan masalah. Berbeda dengan pembelajaran teknologi yang berfokus pada penguasaan perangkat atau aplikasi tertentu, STEAM memposisikan teknologi sebagai alat untuk menciptakan solusi inovatif terhadap permasalahan nyata. Dengan demikian, mahasiswa tidak hanya mengembangkan keterampilan teknis, tetapi juga kemampuan berpikir sistemik, pengambilan keputusan berbasis data, serta kemampuan beradaptasi terhadap perkembangan teknologi yang cepat.

Berbagai teknologi seperti kecerdasan buatan, pembelajaran berbasis data, simulasi digital, dan lingkungan pembelajaran interaktif semakin banyak diintegrasikan dalam pembelajaran STEAM. Integrasi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan literasi digital, kompetensi teknologi, keterampilan desain rekayasa, dan kemampuan pemecahan masalah yang merupakan bagian penting dari kompetensi Industri 5.0 (Akış, 2024; Abuhassna et al., 2024).

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa STEAM berperan sebagai lingkungan belajar yang memungkinkan integrasi antara kompetensi digital dan kompetensi inovasi. Temuan ini konsisten dengan kajian (Deák & Kumar, 2024) yang menemukan bahwa STEAM mampu mengembangkan kompetensi digital melalui aktivitas pemecahan masalah multidisipliner. Temuan tersebut dapat dijelaskan melalui teori konstruktivisme teknologi (*constructionism*) yang dikemukakan Papert, di mana pembelajaran akan lebih efektif ketika peserta didik secara aktif membangun artefak atau solusi berbasis teknologi. Dalam konteks pendidikan tinggi, integrasi STEAM memungkinkan mahasiswa menggunakan teknologi untuk merancang solusi terhadap permasalahan autentik, sehingga kompetensi digital berkembang bersamaan dengan kreativitas, inovasi, dan kemampuan berpikir sistemik. Hasil ini diperkuat oleh penelitian (Erdoğan & Stuessy, 2023) yang menunjukkan bahwa lingkungan belajar STEAM berbasis desain mampu meningkatkan kemampuan inovasi dan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa secara signifikan.

Perkembangan kecerdasan buatan (AI) semakin memperluas makna kompetensi digital dalam pendidikan tinggi. Temuan (Abuhassna et al., 2024) menunjukkan bahwa AI dan *machine learning* telah mengubah cara mahasiswa belajar, berinteraksi, dan mengakses informasi. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian (Tlili & Shehata, 2023) yang menegaskan bahwa pemanfaatan AI generatif dalam pendidikan membuka peluang untuk personalisasi pembelajaran, umpan balik otomatis, dan peningkatan pengalaman belajar yang lebih adaptif namun harus diimbangi dengan penguatan etika digital. (López-Belmonte & Pozo-Sánchez, 2023) yang menemukan bahwa integrasi perangkat digital interaktif dalam pembelajaran STEAM mampu meningkatkan *computational thinking*, kreativitas, dan kemampuan pemecahan masalah mahasiswa. Teknologi dalam STEAM berfungsi sebagai medium yang menjembatani teori dan praktik. (Deroncele-Acosta et al., 2023) menunjukkan bahwa

transformasi digital pendidikan tinggi masih menghadapi hambatan berupa kesenjangan infrastruktur, rendahnya kesiapan dosen, serta keterbatasan integrasi kurikulum.

Implikasi teoretis dari temuan ini adalah perlunya perluasan konsep kompetensi digital dalam kerangka Industri 5.0. Literatur sebelumnya cenderung memandang kompetensi digital sebagai keterampilan teknologi atau literasi informasi. Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kompetensi digital berkembang melalui interaksi antara teknologi, kreativitas, inovasi, etika, dan kolaborasi yang difasilitasi oleh pembelajaran STEAM. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan perspektif baru bahwa kompetensi digital merupakan kompetensi transdisipliner yang berfungsi sebagai penghubung antara penguasaan teknologi dan pengembangan kapasitas manusia. Perspektif ini memperluas kerangka Education 4.0 menuju orientasi Industri 5.0 yang lebih humanistik dan berkelanjutan.

Dari sisi praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi perguruan tinggi dalam merancang kurikulum dan strategi pembelajaran. Pengembangan kompetensi digital tidak cukup dilakukan melalui mata kuliah teknologi atau pelatihan perangkat lunak semata, tetapi perlu diintegrasikan dalam aktivitas pembelajaran berbasis proyek, desain, inovasi, dan pemecahan masalah lintas disiplin. Perguruan tinggi juga perlu mengembangkan ekosistem pembelajaran yang memungkinkan mahasiswa memanfaatkan AI, analisis data, simulasi digital, dan teknologi rekayasa secara bertanggung jawab.

Tema 3. Model Implementasi dan Tantangan STEAM di Perguruan Tinggi untuk Industri 5.0

Implementasi STEAM di perguruan tinggi semakin dipandang sebagai strategi penting dalam mempersiapkan lulusan yang mampu menghadapi kompleksitas Industri 5.0. Namun, hasil sintesis menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi STEAM tidak hanya ditentukan oleh desain pembelajaran, tetapi juga dipengaruhi oleh kesiapan dosen, integrasi kurikulum, dukungan institusional, infrastruktur teknologi, serta budaya kolaborasi lintas disiplin. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa meskipun STEAM memiliki potensi besar untuk mengembangkan kompetensi abad ke-21 dan kompetensi Industri 5.0, proses implementasinya masih menghadapi tantangan struktural dan pedagogis yang signifikan.

Temuan (Ariza & Olatunde-Aiyedun, 2024) memperlihatkan bahwa salah satu hambatan terbesar implementasi STEAM adalah rendahnya kesiapan tenaga pendidik. Kajian mereka terhadap 207 publikasi menunjukkan bahwa banyak program pendidikan guru dan dosen belum memberikan ruang yang memadai untuk mengintegrasikan STEAM dan *sustainability* secara interdisipliner. Kondisi tersebut mengakibatkan implementasi STEAM sering kali bersifat parsial dan masih berorientasi pada disiplin ilmu tertentu.

Dari perspektif transformasi institusional, (Deroncele-Acosta et al., 2023) menunjukkan bahwa digitalisasi pendidikan tinggi pascapandemi menuntut perubahan yang lebih luas daripada sekadar penggunaan teknologi. Perguruan tinggi perlu membangun ekosistem pembelajaran yang mendukung kolaborasi lintas disiplin, inovasi pedagogis, dan pemanfaatan teknologi secara berkelanjutan, yang didukung melalui inovasi kurikulum, pendekatan pedagogis, dan instrument evaluasi kompetensi (Cebrián et al., 2020).

Studi (Torres-Rivera & Rendón Peña, 2025) memberikan perspektif yang lebih mutakhir dengan menunjukkan bahwa implementasi STEAM pada era Society 5.0 tidak dapat dipisahkan dari integrasi kecerdasan buatan dan etika digital. Penelitian tersebut menemukan bahwa kepemimpinan transformasional, tata kelola teknologi yang etis, dan kolaborasi multidisipliner merupakan fondasi penting dalam membangun model pembelajaran STEAM yang berkelanjutan. Dengan demikian, implementasi STEAM di perguruan tinggi tidak hanya berkaitan dengan pengembangan kompetensi mahasiswa, tetapi juga mencakup pengembangan kapasitas organisasi dan tata kelola pendidikan tinggi yang adaptif terhadap perubahan teknologi.

Penerapan STEAM di perguruan tinggi menghadapi paradoks yang menarik. Di satu sisi, STEAM diakui sebagai pendekatan yang mampu mengembangkan kompetensi multidimensional yang dibutuhkan pada era Industri 5.0, seperti kreativitas, literasi digital, inovasi, kolaborasi, dan kemampuan pemecahan masalah kompleks. Namun, di sisi lain, implementasinya masih menghadapi

berbagai hambatan struktural yang berakar pada sistem pendidikan tinggi yang secara historis dibangun berdasarkan batas-batas disiplin ilmu. Fenomena *disciplinary egocentrism* yang diidentifikasi oleh (Milara & Orduña, 2024) menunjukkan bahwa banyak program studi masih mempertahankan orientasi disipliner sehingga menghambat integrasi lintas bidang yang menjadi karakter utama STEAM.

Kesiapan dosen dan tenaga pendidik merupakan faktor paling dominan dalam menentukan keberhasilan implementasi STEAM. Temuan ini mengonfirmasi penelitian (Du et al., 2022) yang menemukan bahwa kesiapan dosen untuk mengadopsi pendekatan pembelajaran inovatif sangat dipengaruhi oleh kompetensi pedagogis, keyakinan profesional, dan dukungan institusional. Dari perspektif teori *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK), keberhasilan implementasi STEAM membutuhkan integrasi pengetahuan konten, pedagogi, dan teknologi secara simultan. Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar dosen masih memiliki kompetensi yang tidak seimbang pada ketiga aspek tersebut, terutama dalam mengintegrasikan teknologi dan pendekatan interdisipliner ke dalam praktik pembelajaran (Schmid et al., 2021). Temuan ini menunjukkan bahwa pengembangan kompetensi dosen perlu menjadi prioritas utama dalam transformasi pendidikan tinggi menuju Industri 5.0, karena keberhasilan implementasi STEAM sangat bergantung pada kapasitas pendidik dalam merancang pengalaman belajar yang kolaboratif, autentik, dan berbasis teknologi.

Implikasi teoretis dari penelitian ini adalah perlunya perluasan model implementasi STEAM yang selama ini lebih banyak berfokus pada aspek pedagogis. Hasil sintesis menunjukkan bahwa keberhasilan STEAM dalam mengembangkan kompetensi Industri 5.0 bergantung pada kesiapan ekosistem pendidikan tinggi secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perspektif *STEAM Ecosystem Model*, yaitu kerangka konseptual yang memandang implementasi STEAM sebagai interaksi antara empat dimensi utama: kapasitas pendidik, fleksibilitas kurikulum, dukungan teknologi, dan kepemimpinan institusional. Model ini memperluas kajian STEAM yang sebelumnya lebih berorientasi pada proses pembelajaran di kelas menjadi perspektif yang lebih sistemik dan institusional.

Dari sisi praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi pengambil kebijakan dan pengelola perguruan tinggi. Pengembangan kompetensi Industri 5.0 tidak dapat dicapai hanya melalui penambahan mata kuliah teknologi atau inovasi, tetapi memerlukan transformasi menyeluruh terhadap sistem pendidikan tinggi. Perguruan tinggi perlu mengembangkan program peningkatan kapasitas dosen, mendesain kurikulum yang lebih fleksibel dan lintas disiplin, memperkuat infrastruktur digital, serta membangun budaya organisasi yang mendukung kolaborasi dan inovasi. Selain itu, evaluasi keberhasilan implementasi STEAM perlu diperluas untuk mencakup dimensi organisasi dan institusional, bukan hanya hasil belajar mahasiswa.

Tema 4. Integrasi Artificial Intelligence dan Teknologi Cerdas dalam Pembelajaran STEAM

Integrasi AI dalam STEAM telah mengubah paradigma pembelajaran dari model yang bersifat seragam (*one-size-fits-all*) menjadi model yang lebih personal, adaptif, dan berbasis data. Temuan (Abuhassna et al., 2024) menunjukkan bahwa AI memungkinkan sistem pembelajaran menyesuaikan materi, aktivitas, dan umpan balik berdasarkan kebutuhan serta karakteristik mahasiswa. Temuan ini sejalan dengan teori *adaptive learning* yang menyatakan bahwa efektivitas pembelajaran meningkat ketika pengalaman belajar disesuaikan dengan profil individu peserta didik. Dalam konteks STEAM, kemampuan AI untuk mempersonalisasi pembelajaran menjadi penting karena mahasiswa sering kali memiliki latar belakang disiplin ilmu dan kemampuan yang beragam.

AI berperan dalam memperkuat pengembangan kompetensi multidisipliner yang menjadi inti STEAM. (Torres-Rivera & Rendón Peña, 2025) menemukan bahwa integrasi AI dan STEAM mampu mengembangkan kompetensi yang relevan dengan Society 5.0 dan Industri 5.0, termasuk literasi AI, etika digital, kreativitas, dan kemampuan kolaborasi manusia-mesin. Perkembangan AI generatif seperti ChatGPT juga menjadi salah satu isu dominan dalam literatur mutakhir. Tlili & Shehata (2023) dan Kasneci & Sessler (2023) menunjukkan bahwa AI generatif mampu meningkatkan kreativitas, eksplorasi ide, dan dukungan belajar mandiri. Dalam pembelajaran STEAM, teknologi ini memungkinkan mahasiswa memperoleh bantuan dalam proses desain, pemrograman, pemecahan

masalah, dan eksplorasi konsep lintas disiplin. Namun, kedua studi tersebut juga menegaskan bahwa penggunaan AI generatif menimbulkan tantangan terkait integritas akademik, bias algoritma, keamanan data, dan ketergantungan teknologi. Oleh karena itu, pengembangan literasi AI dan kemampuan berpikir kritis menjadi komponen yang tidak dapat dipisahkan dari implementasi AI dalam STEAM.

Integrasi teknologi cerdas tidak terbatas pada AI generatif. Penggunaan *augmented reality*, *virtual reality*, *learning analytics*, dan sistem tutor cerdas semakin banyak digunakan untuk mendukung pembelajaran STEAM. Studi (Giang et al., 2025) menunjukkan bahwa AR mampu meningkatkan visualisasi konsep abstrak dan memperkuat keterlibatan mahasiswa dalam proses pembelajaran. Tantangan implementasi AI dalam STEAM masih cukup kompleks. (Bond et al., 2024) menemukan bahwa sebagian besar penelitian AI dalam pendidikan masih berfokus pada aspek teknologi dan kurang memperhatikan dimensi etika, pedagogi, dan tata kelola.

Penelitian (Chiu et al., 2024) yang menunjukkan bahwa transformasi digital pendidikan tinggi memerlukan integrasi keterampilan digital, kemampuan berpikir kritis, dan kecakapan belajar mandiri dalam satu kerangka pembelajaran yang terpadu. Kompetensi digital tidak dapat dipisahkan dari kemampuan kognitif tingkat tinggi. Dalam konteks STEAM, teknologi tidak diposisikan sebagai tujuan pembelajaran, melainkan sebagai instrumen untuk mengembangkan kemampuan berpikir kompleks melalui eksplorasi, eksperimen, dan inovasi. Dengan demikian, pengembangan kompetensi digital melalui STEAM tidak hanya meningkatkan kesiapan teknologi mahasiswa, tetapi juga memperkuat kapasitas mereka dalam menghadapi ketidakpastian dan kompleksitas dunia kerja masa depan.

Kontribusi teoretis penelitian ini adalah pengembangan kerangka konseptual yang menjelaskan hubungan antara integrasi AI dalam STEAM dan pengembangan kompetensi Industri 5.0. Sementara itu, kontribusi praktisnya adalah menyediakan dasar empiris bagi perguruan tinggi dalam merancang kurikulum, kebijakan, dan strategi pembelajaran yang mengintegrasikan AI secara etis dan berkelanjutan. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan arah baru bagi transformasi pendidikan tinggi yang lebih responsif terhadap perkembangan teknologi sekaligus tetap mempertahankan orientasi humanistik yang menjadi inti Industri 5.0.

Tema 5. STEAM untuk Pengembangan Human-Centered Skills dan Kompetensi Keberlanjutan

Pengembangan *human-centered skills* dan kompetensi keberlanjutan merupakan salah satu kontribusi paling khas dari pembelajaran STEAM dibandingkan pendekatan STEM konvensional. Jika STEM secara tradisional lebih berorientasi pada pengembangan kemampuan teknis dan rekayasa, STEAM memperluas cakupan pembelajaran melalui integrasi unsur seni dan dimensi humanistik yang memungkinkan mahasiswa mengembangkan empati, kreativitas, komunikasi, dan kesadaran sosial. Temuan ini mendukung paradigma Industri 5.0 yang menempatkan manusia sebagai pusat inovasi teknologi (Nahavandi, 2019; Longo et al., 2020).

Dari perspektif teori *human-centered innovation*, teknologi tidak dipandang sebagai tujuan akhir, melainkan sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas hidup manusia. Temuan (Torres-Rivera & Rendón Peña, 2025) menunjukkan bahwa integrasi AI dan STEAM mampu menghasilkan model pembelajaran yang tidak hanya meningkatkan kompetensi digital, tetapi juga mengembangkan etika digital, empati, dan kesadaran sosial. Hasil ini memperkuat argumentasi bahwa pengembangan kompetensi Industri 5.0 memerlukan keseimbangan antara kecanggihan teknologi dan kemampuan manusia dalam memahami dampak sosial serta moral dari inovasi yang dihasilkan.

STEAM dapat meningkatkan kesadaran keberlanjutan melalui pembelajaran lintas disiplin yang menghubungkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Temuan tersebut sejalan dengan kerangka (UNESCO, 2021) yang menegaskan bahwa pendidikan abad ke-21 harus mengembangkan kompetensi keberlanjutan yang mencakup kemampuan berpikir sistemik, kolaborasi, refleksi kritis, dan tanggung jawab terhadap masa depan. Dalam konteks ini, STEAM menyediakan lingkungan belajar yang memungkinkan mahasiswa memahami hubungan kompleks antara teknologi, manusia, dan keberlanjutan melalui pengalaman belajar yang autentik.

Penelitian Brundiers et al. (2021) dan Wiek et al. (2021) menunjukkan bahwa kompetensi keberlanjutan tidak dapat dikembangkan melalui pendekatan pembelajaran yang berfokus pada transfer pengetahuan semata. Sebaliknya, kompetensi tersebut membutuhkan pengalaman belajar yang melibatkan eksplorasi masalah nyata, kerja kolaboratif, pengambilan keputusan, dan refleksi terhadap konsekuensi sosial maupun lingkungan dari tindakan manusia. Karakteristik tersebut sangat sesuai dengan pendekatan STEAM yang berbasis proyek (*project-based learning*) dan pemecahan masalah (*problem-based learning*). Oleh karena itu, pembelajaran STEAM memiliki potensi besar untuk menjadi wahana pengembangan sustainability competencies yang lebih efektif dibandingkan pendekatan pembelajaran tradisional.

Temuan lain yang menarik adalah adanya hubungan erat antara kreativitas dan keberlanjutan. (Deák & Kumar, 2024) menunjukkan bahwa STEAM tidak hanya meningkatkan kompetensi digital tetapi juga mendukung munculnya inovasi berkelanjutan (*sustainable innovation*). Hal ini menunjukkan bahwa kreativitas dalam STEAM tidak berhenti pada penciptaan produk atau solusi baru, tetapi juga diarahkan untuk menghasilkan inovasi yang memiliki dampak sosial dan lingkungan yang positif. Perspektif ini sangat relevan dengan konsep Industri 5.0 yang menempatkan keberlanjutan sebagai salah satu pilar utama selain human-centricity dan resilience.

Sebagian besar penelitian masih membahas *human-centered skills* dan *sustainability competencies* secara terpisah. Beberapa studi berfokus pada kreativitas, kolaborasi, atau etika digital, sedangkan studi lainnya menyoroti kompetensi keberlanjutan tanpa menghubungkannya secara langsung dengan kerangka Industri 5.0. Akibatnya, masih terdapat keterbatasan dalam memahami bagaimana kedua kelompok kompetensi tersebut berkembang secara simultan melalui pembelajaran STEAM. Kondisi ini menunjukkan perlunya model konseptual yang mampu menjelaskan hubungan antara STEAM, kompetensi kemanusiaan, keberlanjutan, dan kesiapan menghadapi Industri 5.0 secara lebih komprehensif.

Penelitian ini menghasilkan kerangka konseptual baru yang menjelaskan bagaimana STEAM dapat menjadi strategi pengembangan sumber daya manusia yang selaras dengan tiga pilar utama Industri 5.0, yaitu *human-centricity*, *sustainability*, dan *resilience*. Kontribusi teoretis penelitian ini adalah memperluas kajian STEAM dari perspektif pengembangan kompetensi teknis menuju perspektif yang lebih holistik dan humanistik. Sementara itu, kontribusi praktisnya adalah menyediakan dasar empiris bagi perguruan tinggi dalam merancang kurikulum, pembelajaran, dan kebijakan yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan teknologi, tetapi juga pada pengembangan manusia yang kreatif, etis, bertanggung jawab, dan berkelanjutan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran STEAM di perguruan tinggi memiliki peran strategis dalam pengembangan kompetensi yang dibutuhkan pada era Industri 5.0. Hasil *systematic literature review* mengungkap bahwa STEAM tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan kompetensi teknis, seperti literasi digital, *computational thinking*, dan kemampuan pemecahan masalah, tetapi juga mengembangkan kompetensi humanistik yang menjadi karakteristik utama Industri 5.0, seperti kreativitas, inovasi, kolaborasi, komunikasi, etika digital, keberlanjutan, dan *human-centered skills*. Temuan ini menunjukkan bahwa dampak STEAM terhadap kesiapan lulusan menghadapi transformasi industri dan sosial lebih luas daripada yang selama ini dipahami dalam literatur yang cenderung memisahkan antara kompetensi teknologi dan kompetensi manusiawi. Dengan demikian, penelitian ini menantang pandangan tradisional yang menempatkan pengembangan keterampilan teknis sebagai tujuan utama pendidikan tinggi, serta menegaskan bahwa integrasi kompetensi teknologi dan humanistik merupakan prasyarat penting bagi pengembangan sumber daya manusia pada era Industri 5.0. Selain itu, hasil sintesis menunjukkan bahwa keberhasilan STEAM dalam menghasilkan kompetensi tersebut didukung oleh karakteristik pembelajaran yang bersifat interdisipliner, berbasis proyek, berorientasi pada pemecahan masalah nyata, dan didukung oleh integrasi teknologi digital yang memungkinkan mahasiswa memperoleh pengalaman belajar yang autentik dan relevan dengan kebutuhan dunia kerja masa depan.

DAFTAR RUJUKAN

- Abuhassna, H., Awae, F., Adnan, M. A. B. M., Daud, M., & Almheiri, A. S. (2024). The information age for education via artificial intelligence and machine learning: A bibliometric and systematic literature analysis. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(5), 700–711. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.5.2098>
- Akış, A. P. (2024). Using Arduino in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: Bibliometric analysis. *Science Education International*, 35(2), 73–84. <https://doi.org/10.33828/sei.v35.i2.1>
- Ariza, J. Á., & Olatunde-Aiyedun, T. G. (2024). A systematic literature review on STEAM pre- and in-service teacher education for sustainability: Are teachers ready? *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(9), em2498. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14961>
- Bond, M., Khosravi, H., De Laat, M., Bergdahl, N., Negrea, V., & Prinsloo, P. (2024). A meta-systematic review of artificial intelligence in higher education: A call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-z>
- Brundiers, K., Barth, M., & Cebrián, G. (2021). Key competencies in sustainability in higher education: Toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science*, 16(1), 13–29. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00838-2>
- Cebrián, G., Junyent, M., & Mulà, I. (2020). Competencies in Education for Sustainable Development: Emerging Teaching and Research Developments. *Sustainability*, 12(2), 579. <https://doi.org/10.3390/su12020579>
- Chiu, T. K. F., Lin, T. J., & Lonka, K. (2024). Competencies for the digital transformation in education. *Computers & Education*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104861>
- Commission, E. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. <https://doi.org/10.2777/308407>
- Deák, C., & Kumar, B. (2024). A systematic review of STEAM education's role in nurturing digital competencies for sustainable innovations. *Education Sciences*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/educsci14030226>
- Deroncele-Acosta, A., Palacios-Núñez, M. L., & Toribio-López, A. (2023). Digital transformation and technological innovation on higher education post-COVID-19. *Sustainability*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032466>
- Du, X., Guerra, A., & Nørgaard, B. (2022). University teachers' change readiness to implement education for sustainable development through participation in a PBL-based professional development program. *Sustainability*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912079>
- Erdoğan, N., & Stuessy, C. (2023). STEAM education and innovation skills development: A review of current evidence. *Education Sciences*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/educsci13111127>
- Giang, N. T., Dinh, N. Van, Ngu, P. N. H., Chau, D. B., Thao, N. P., & Thao, T. T. P. (2025). Applying Augmented Reality Technology in STEM Education: A Bibliometrics Analysis in Scopus Database. *European Journal of Educational Research*, 14(1), 73–87. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.14.1.73>
- González-Pérez, L. I., & Ramírez-Montoya, M. S. (2022). Components of Education 4.0 in 21st century skills frameworks: Systematic review. *Sustainability*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031493>
- Kasneci, E., & Sessler, K. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

- Leng, J., Sha, W., & Wang, B. (2022). Industry 5.0: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 279–295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>
- Longo, F., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Value-oriented and ethical technology engineering in Industry 5.0: A human-centric perspective for the design of the factory of the future. *Applied Sciences*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/app10124182>
- López-Belmonte, J., & Pozo-Sánchez, S. (2023). Development of computational thinking through STEAM methodologies in higher education. *Education Sciences*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/educsci13050487>
- Milara, I. S., & Orduña, J. M. (2024). Possibilities and challenges of STEAM pedagogies in higher education. *Educational Research Review*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100612>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- Page, M. J., & McKenzie, J. E. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Tlili, A., & Shehata, B. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x>
- Torres-Rivera, A. D., & Rendón Peña, A. A. (2025). Ethical integration of AI and STEAM pedagogies in higher education: A sustainable learning model for Society 5.0. *Sustainability*, 17(19). <https://doi.org/10.3390/su17198525>
- UNESCO. (2021). *Education for Sustainable Development: Towards Achieving the Sustainable Development Goals (ESD for 2030)*.
- Wiek, A., Withycombe Keeler, L., & Redman, C. L. (2021). Sustainability competencies revisited. *Sustainability Science*, 16(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00836-4>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Yulianti, E., Suwono, H., Abd Rahman, N. F., & Phang, F. A. (2024). State-of-the-art of STEAM education in science classrooms: A systematic literature review. *Open Education Studies*, 6(1). <https://doi.org/10.1515/edu-2024-0032>