



Contents lists available at [Elora Center](#)

Lentera Negeri

Journal homepage: <https://lentera.eloracenter.org/lentera>



Transformasi kompetensi digital melalui kecerdasan buatan dalam pendidikan pemrograman: struktur pengetahuan dan arah perkembangan riset

Wiki Lofandri^{*)}, Alzet Rama

Univeristas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received Sep 12th, 2025

Revised Oct 20th, 2025

Accepted Nov 16th, 2025

Keyword:

Analisis bibliometrik

Artificial intelligence

Kompetensi digital

TVET

ABSTRACT

Integrasi kecerdasan buatan (AI) ke dalam pendidikan pemrograman telah memunculkan diskursus baru tentang kompetensi digital yang dibutuhkan pendidik, khususnya dalam konteks Technical and Vocational Education and Training (TVET). Penelitian ini bertujuan menganalisis tren global penelitian mengenai AI, machine learning, dan kompetensi digital dalam pendidikan pemrograman berbasis bibliometrik menggunakan data Scopus periode 2020–2025. Sebanyak 106 artikel ilmiah diekstrak melalui boolean search sistematis dari database Scopus, kemudian dianalisis menggunakan teknik bibliometrik meliputi analisis tren publikasi, analisis sitasi, pemetaan ko-kemunculan kata kunci, analisis jaringan penulis, serta pemetaan tematik. Hasil analisis menunjukkan pertumbuhan eksponensial publikasi sejak tahun 2023, dengan lonjakan dramatis pada 2025 (62 artikel) yang didominasi topik generative AI dan large language models dalam coding education. Lima kluster tematik teridentifikasi: (1) AI Tools dan LLM dalam coding education; (2) machine learning untuk sistem pendidikan pemrograman; (3) kompetensi digital dan computational thinking; (4) pengembangan kurikulum dan pedagogi vokasi; serta (5) asesmen dan evaluasi otomatis. Temuan ini mengimplikasikan perlunya reorientasi kerangka kompetensi digital guru vokasi untuk mencakup literasi AI, prompt engineering, dan integrasi generative AI dalam praktik pembelajaran pemrograman. Penelitian ini memberikan kontribusi peta jalan riset untuk pengembangan kompetensi digital guru TVET di era AI.



© 2025 The Authors.

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Corresponding Author:

Wiki Lofandri,

wiloleaks@unp.ac.id

Pendahuluan

Transformasi digital yang berlangsung dengan kecepatan yang tidak terduga telah mengubah secara fundamental cara kerja, cara belajar, dan cara mengajar di seluruh penjuru dunia. Di tengah arus perubahan tersebut, pendidikan vokasi yang secara tradisional berorientasi pada penyiapan tenaga kerja terampil menghadapi tekanan ganda: di satu sisi harus merespons kebutuhan industri yang terus bergeser akibat otomasi dan kecerdasan buatan, di sisi lain harus memastikan bahwa pendidik yang ada mampu mengintegrasikan teknologi terkini ke dalam praktik pembelajaran mereka. Dalam konteks inilah, pertanyaan mengenai kompetensi digital guru vokasi menjadi semakin mendesak dan strategis.

Munculnya generative AI khususnya large language models (LLM) seperti ChatGPT, Gemini, dan GitHub Copilot telah menggemparkan komunitas pendidikan global. Laporan World Economic Forum (2023) menyebutkan bahwa 65% pekerjaan yang akan dipegang generasi muda saat ini belum pernah ada sebelumnya, dan sebagian besar pekerjaan baru tersebut akan mensyaratkan kompetensi digital tingkat

tinggi, termasuk kemampuan berinteraksi secara produktif dengan sistem AI. Dalam bidang pendidikan pemrograman yang secara langsung bersentuhan dengan dunia teknologi informasi perubahan ini terasa paling dramatis. Guru vokasi bidang IT tidak lagi cukup hanya menguasai syntax bahasa pemrograman; mereka kini dituntut memahami cara kerja AI, merancang skenario pembelajaran berbantuan AI, dan memandu peserta didik untuk menggunakan AI secara etis dan produktif.

Data dari Scopus menunjukkan bahwa penelitian tentang AI dan machine learning dalam pendidikan pemrograman mengalami pertumbuhan yang luar biasa: dari hanya 2 artikel pada 2020, melonjak menjadi 62 artikel pada 2025, dengan total 106 artikel terpublikasi dalam rentang 2020–2025. Lonjakan ini bukan sekadar angka statistik ia mencerminkan sebuah paradigma baru dalam komunitas riset global bahwa integrasi AI dalam pendidikan pemrograman telah menjadi arus utama yang tidak dapat diabaikan. Menariknya, kajian yang secara eksplisit menghubungkan perkembangan ini dengan kebutuhan spesifik guru vokasi dan konteks TVET masih sangat terbatas, khususnya dari perspektif negara berkembang seperti Indonesia.

Indonesia, sebagai negara dengan lebih dari 14.000 Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dan jutaan peserta didik vokasi, menghadapi tantangan yang unik. Di satu sisi, pemerintah melalui Peraturan Presiden No. 68 Tahun 2022 tentang Revitalisasi Pendidikan Vokasi dan Pelatihan Kejuruan menargetkan peningkatan kualitas link and match antara dunia pendidikan dan dunia kerja. Di sisi lain, survei Pusat Penelitian Kebijakan (Puspendik) menunjukkan bahwa literasi digital guru SMK masih jauh di bawah standar yang diharapkan, terutama dalam aspek penggunaan teknologi untuk pembelajaran. Kondisi ini semakin diperparah oleh lemahnya panduan kebijakan yang berbasis riset mengenai kompetensi digital spesifik apa yang harus dikuasai guru vokasi di era AI.

Analisis bibliometrik hadir sebagai metode yang tepat untuk memetakan lanskap pengetahuan ini secara sistematis dan komprehensif. Tidak seperti tinjauan naratif yang rentan terhadap bias seleksi, bibliometrik memungkinkan pemetaan objektif terhadap volume, arah, dan kluster tematik sebuah bidang penelitian, sekaligus mengidentifikasi kesenjangan yang belum dijawab oleh komunitas ilmiah. Dengan memanfaatkan data valid dari database Scopus salah satu basis data akademik terbesar dan paling terpercaya di dunia penelitian ini berupaya membangun peta komprehensif tentang bagaimana peneliti global telah mendiskusikan AI dan kompetensi digital dalam pendidikan pemrograman, dan dari sana menarik implikasi untuk pengembangan kerangka kompetensi guru vokasi.

Artikel ini terorganisasi sebagai berikut: bagian kedua menguraikan gap dan urgensi penelitian; bagian ketiga menjelaskan metode bibliometrik yang digunakan; bagian keempat menyajikan hasil analisis bibliometrik secara komprehensif; bagian kelima mendiskusikan temuan dalam kerangka teoretis dan konteks TVET; dan bagian keenam menyimpulkan kontribusi serta arah penelitian masa depan.

Konsep kompetensi digital guru telah mengalami evolusi yang signifikan dalam dua dekade terakhir. DigComp framework yang dikembangkan oleh Komisi Eropa (Carretero et al., 2017) mendefinisikan kompetensi digital sebagai kombinasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang dibutuhkan individu dalam menggunakan TIK secara kreatif, kritis, dan aman. Khusus untuk guru, DigCompEdu (Redecker, 2017) mengidentifikasi enam area kompetensi: keterlibatan profesional, sumber daya digital, pengajaran dan pembelajaran, asesmen, pemberdayaan peserta didik, dan fasilitasi kompetensi digital peserta didik.

Namun, kerangka-kerangka tersebut dikembangkan sebelum era generative AI. Penelitian terkini menunjukkan bahwa kemunculan ChatGPT dan LLM sejenisnya memaksa rekonseptualisasi mendasar terhadap apa yang dimaksud dengan 'kompeten secara digital'. Rahman dan Watanobe (2023), dalam artikel yang telah disitasi lebih dari 841 kali, menegaskan bahwa ChatGPT membuka peluang transformatif namun sekaligus menghadirkan ancaman serius terhadap integritas akademik. Implikasinya bagi guru adalah bahwa mereka tidak cukup hanya mampu menggunakan teknologi mereka harus mampu merancang pembelajaran yang memanfaatkan AI secara pedagogis bermakna dan etis.

Dalam konteks TVET, kerangka kompetensi digital guru menghadapi lapisan kompleksitas tambahan. Berbeda dari pendidikan umum, guru vokasi harus menjembatani dua dunia: dunia pendidikan dan dunia industri. UNESCO-UNEVOC (2021) menekankan perlunya guru TVET memiliki 'industri-relevan digital competencies' yang tidak hanya mencakup pedagogical digital skills, tetapi juga professional digital skills yang mencerminkan standar industri terkini. Dengan demikian, guru vokasi bidang IT yang tidak menguasai AI tools yang digunakan di industri akan kehilangan relevansinya.

Pendidikan pemrograman merupakan salah satu bidang yang paling cepat dan paling intens terdampak oleh generative AI. GitHub Copilot, ChatGPT, dan Gemini telah mengubah cara mahasiswa dan siswa

belajar menulis kode dari pendekatan trial-and-error mandiri menjadi dialog interaktif dengan AI yang mampu menghasilkan, menjelaskan, dan memperbaiki kode secara instan. Yilmaz dan Karaoglan Yilmaz (2023) menemukan bahwa penggunaan alat GenAI secara signifikan meningkatkan computational thinking, self-efficacy pemrograman, dan motivasi belajar siswa. Temuan ini konsisten dengan Liao et al. (2024) yang menunjukkan bahwa scaffolding berbasis ChatGPT ketika dirancang secara bertahap dan terstruktur lebih efektif dibanding bantuan langsung tanpa panduan pedagogis.

Namun, adopsi AI dalam pembelajaran pemrograman tidak lepas dari tantangan. Haindl dan Weinberger (2024) mendokumentasikan fenomena ketergantungan kognitif di mana mahasiswa kehilangan kemampuan problem-solving mandiri akibat terlalu bergantung pada ChatGPT. Fenomena ini disebut sebagai 'cognitive offloading paradox' saat AI mengambil alih proses berpikir, student agency dalam belajar justru melemah. Er et al. (2025), dalam studi yang melibatkan lebih dari 310 mahasiswa, menemukan bahwa mahasiswa menganggap umpan balik AI lebih objektif dan konsisten dibanding umpan balik guru, sebuah temuan yang memiliki implikasi serius bagi peran dan identitas profesional guru.

Gong et al. (2025) menawarkan perspektif yang lebih nuanced melalui analisis pola interaksi manusia-komputer dalam pembelajaran pemrograman berbantuan AI. Mereka menemukan bahwa siswa dengan computational thinking tinggi berinteraksi dengan AI melalui pola debating dan summarizing, sementara siswa dengan CT rendah terjebak dalam pola guided dan exploratory yang lebih pasif. Temuan ini mengisyaratkan bahwa efektivitas AI dalam pendidikan pemrograman sangat bergantung pada kemampuan awal siswa, dan karenanya, peran guru sebagai mediator pedagogis menjadi semakin, bukan semakin kurang, krusial.

Analisis bibliometrik telah berkembang menjadi salah satu metode paling diandalkan dalam memetakan perkembangan ilmu pengetahuan secara kuantitatif dan sistematis (Donthu et al., 2021). Berbeda dari systematic literature review (SLR) yang berfokus pada sintesis kualitatif sejumlah kecil studi terpilih, bibliometrik mampu memproses ribuan dokumen secara simultan untuk mengidentifikasi pola, kluster, dan trajektori perkembangan sebuah bidang. Pritchard (1969) yang pertama kali memformulasikan istilah 'bibliometrics' mendefinisikannya sebagai penerapan metode matematika dan statistika pada buku dan media komunikasi lainnya.

Dalam konteks penelitian pendidikan, bibliometrik telah digunakan secara luas untuk memetakan berbagai bidang, mulai dari educational technology (Zawacki-Richter et al., 2019), TVET research (Nore & Lahn, 2014), hingga AI in education (Chen et al., 2020). Teknik-teknik utama yang digunakan meliputi: analisis ko-kemunculan kata kunci (co-word analysis), analisis jaringan ko-otoritas (co-authorship network), pemetaan tematik berbasis co-citation, serta overlay visualization untuk menggambarkan dimensi temporal perkembangan topik. Software seperti VOSviewer (van Eck & Waltman, 2010) dan Bibliometrix R-package (Aria & Cuccurullo, 2017) telah menjadi alat standar dalam komunitas riset bibliometrik.

Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis bibliometrik kuantitatif untuk memetakan tren penelitian global tentang AI, machine learning, dan kompetensi digital dalam pendidikan pemrograman. Pemilihan metode ini didasarkan pada pertimbangan bahwa bibliometrik memungkinkan pemetaan menyeluruh terhadap korpus literatur yang besar secara sistematis, objektif, dan dapat direplikasi keunggulan yang tidak dimiliki oleh tinjauan literatur naratif konvensional (Donthu et al., 2021). Data primer diperoleh secara eksklusif dari database Scopus, yang diakui sebagai salah satu basis data akademik peer-reviewed terbesar dan terpercaya di dunia dengan cakupan lebih dari 25.000 jurnal aktif.

Strategi Pencarian dan Boolean Search

Pencarian data dilakukan pada tanggal 25 Mei 2025 menggunakan Scopus Advanced Search. Boolean search yang digunakan adalah sebagai berikut:

```
TITLE-ABS-KEY(("artificial intelligence" OR "machine learning") AND ("programming education" OR "programming learning" OR "coding education")) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2027 AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO(SRCTYPE, "j")) AND (LIMIT-TO(PUBSTAGE, "final")) AND (LIMIT-TO(OA, "all"))
```

Boolean search tersebut dirancang untuk menangkap artikel yang secara eksplisit membahas penggunaan AI atau machine learning dalam konteks pendidikan pemrograman. Kombinasi operator OR di dalam

masing-masing konsep utama memastikan cakupan yang komprehensif terhadap variasi terminologi yang digunakan peneliti dari berbagai latar belakang. Filter PUBYEAR membatasi pencarian pada periode 2020–2025 untuk menangkap perkembangan terkini di era AI. Filter tambahan meliputi: tipe dokumen (hanya artikel penelitian), bahasa (hanya Bahasa Inggris), tipe sumber (hanya jurnal), tahap publikasi (hanya artikel final), dan akses terbuka (open access).

Seleksi dan Pembersihan Data

Boolean search menghasilkan 132 dokumen yang memenuhi kriteria inklusi, namun setelah pembatasan periode hingga 2025, sebanyak 106 artikel final yang dianalisis. Seluruh dokumen diekspor dalam dua format: CSV (untuk analisis statistik dan bibliometrik) dan RIS (untuk verifikasi metadata). Proses pembersihan data meliputi: (1) verifikasi duplikasi menggunakan field DOI dan EID tidak ditemukan duplikasi; (2) normalisasi kata kunci penulis untuk menggabungkan variasi penulisan sinonim (misalnya 'generative AI' dan 'generative artificial intelligence'); (3) verifikasi konsistensi antara field Author Keywords dan Index Keywords; serta (4) pengecekan completeness untuk field Cited by, Affiliations, dan Abstract. Dari 132 artikel, seluruhnya memenuhi standar kualitas data minimal untuk analisis bibliometrik.

Teknik Analisis

Analisis bibliometrik dilakukan menggunakan kombinasi Python (pandas, matplotlib, networkx) untuk analisis statistik deskriptif dan visualisasi, serta konseptual VOSviewer untuk interpretasi pemetaan tematik. Teknik analisis yang diterapkan mencakup: (1) analisis tren publikasi distribusi artikel per tahun dan laju pertumbuhan; (2) analisis sitasi identifikasi artikel, penulis, dan jurnal paling berpengaruh; (3) analisis ko-kemunculan kata kunci dengan threshold minimum 3 kemunculan, menghasilkan peta jaringan kata kunci yang menunjukkan kluster tematik; (4) analisis jaringan penulis co-authorship network dengan threshold minimum 2 artikel; (5) analisis distribusi geografis berdasarkan afiliasi institusi; serta (6) pemetaan tematik menggunakan pendekatan Callon et al. (1991) berbasis density dan centrality untuk mengklasifikasikan tema ke dalam motor, niche, basic, dan emerging themes.

Hasil dan Pembahasan

Gambaran Umum Korpus Data

Hasil pencarian menghasilkan 106 artikel peer-reviewed yang dipublikasikan dalam 51 jurnal unik, dengan total akumulasi sitasi sebesar 2.819 kali (rata-rata 26,59 sitasi per artikel). Seluruh dokumen berupa artikel penelitian (article type), berbahasa Inggris, dipublikasikan dalam jurnal terindeks Scopus, dan berstatus final publication. Rentang waktu publikasi mencakup periode 2020–2025, dengan distribusi yang sangat tidak merata mencerminkan akselerasi penelitian yang dramatis di paruh akhir periode kajian.

Tabel 1. Tren Publikasi Tahunan Penelitian AI dan Kompetensi Digital dalam Pendidikan Pemrograman (2020–2025)

Tahun	Jumlah Artikel	Total Sitasi	Rata-rata Sitasi	Pertumbuhan (%)
2020	2	116	58,00	-
2021	4	15	3,75	+100%
2022	6	182	30,33	+50%
2023	8	1.530	191,25	+33%
2024	24	577	24,04	+200%
2025	62	399	6,44	+158%
Total	106	2.819	26,59	-

Analisis Tren Publikasi

Tabel 1 mengungkapkan pola pertumbuhan yang tidak linier dan sangat dramatik. Periode 2020–2022 dapat dikategorikan sebagai fase inisiasi, dengan total hanya 12 artikel dalam tiga tahun. Tahun 2023 menandai infleksi pertama dengan 8 artikel, namun yang paling mengejutkan adalah lonjakan ke 24 artikel pada 2024 dan 62 artikel pada 2025 peningkatan 158% dalam satu tahun. Pola pertumbuhan ini sangat berkorelasi

dengan timeline ketersediaan publik ChatGPT (November 2022) dan proliferasi generative AI tools setelahnya.

Menarik untuk dicatat bahwa meskipun jumlah artikel 2025 paling banyak, rata-rata sitasi per artikel justru lebih rendah (6,44) dibanding 2023 (191,25) dan 2024 (24,04). Hal ini merupakan fenomena umum dalam bibliometrik artikel yang lebih baru belum memiliki cukup waktu untuk diakumulasi sitasinya. Dua artikel 2023 saja (Rahman & Watanobe dengan 841 sitasi, dan Yilmaz & Karaoglan Yilmaz dengan 634 sitasi) menyumbang lebih dari separuh total sitasi corpus secara keseluruhan (1.475 dari 2.819). Ini mengindikasikan bahwa penelitian 2023 berhasil menangkap momentum awal diskursus ChatGPT-in-education dan menjadi rujukan foundational bagi peneliti berikutnya. Pola pertumbuhan ini mengindikasikan bahwa bidang penelitian ini telah mencapai tingkat kematangan yang tinggi dan diproyeksikan akan terus berkembang sebagai mainstream research area.



Gambar 1. Grafik Tren Publikasi Tahunan (2020–2025)

Analisis Jurnal dan Sumber Publikasi Dominan

Dari 106 artikel terdistribusi dalam 51 jurnal, namun distribusinya sangat tidak merata mengikuti Hukum Bradford tentang scattering ilmiah. Sepuluh jurnal teratas menyumbang 57 artikel (43,2% dari total), dengan IEEE Access sebagai pemimpin jauh (16 artikel, 12,12%), diikuti Applied Sciences Switzerland (11 artikel, 8,33%).

Tabel 2. Sepuluh Jurnal Dominan dalam Penelitian AI dan Pendidikan Pemrograman (2020–2025)

Nama Jurnal	N	%	Kuartil	Bidang
IEEE Access	16	12,12%	Q1 (Scopus)	Multidisciplinary Engineering
Applied Sciences (Switzerland)	11	8,33%	Q2 (Scopus)	Applied Sciences
Education Sciences	7	5,30%	Q2 (Scopus)	Educational Technology
Computers	5	3,79%	Q2 (Scopus)	Computer Science
Computers and Education: AI	5	3,79%	Q1 (Scopus)	AI in Education
Information (Switzerland)	4	3,03%	Q2 (Scopus)	Information Science
British Journal of Educational Technology	4	3,03%	Q1 (Scopus)	Educational Technology

Nama Jurnal	N	%	Kuartil	Bidang
IEEE Trans. on Learning Technologies	3	2,27%	Q1 (Scopus)	Learning Technology
Education and Information Technologies	3	2,27%	Q1 (Scopus)	Educational Technology
Computers and Education Open	3	2,27%	Q1 (Scopus)	Computer Education

Dominasi IEEE Access yang merupakan jurnal open access mega-journal milik IEEE mencerminkan orientasi bidang ini yang kuat ke arah ilmu komputer dan rekayasa. Namun, kehadiran British Journal of Educational Technology dan Education and Information Technologies dalam sepuluh besar menunjukkan bahwa perspektif pendidikan dan pedagogi mulai mendapat tempat yang lebih seimbang. Dari perspektif kuartil Scopus, 5 dari 10 jurnal teratas berada di Q1, mengkonfirmasi bahwa penelitian di bidang ini telah mencapai tingkat kematangan dan legitimasi akademik yang tinggi.

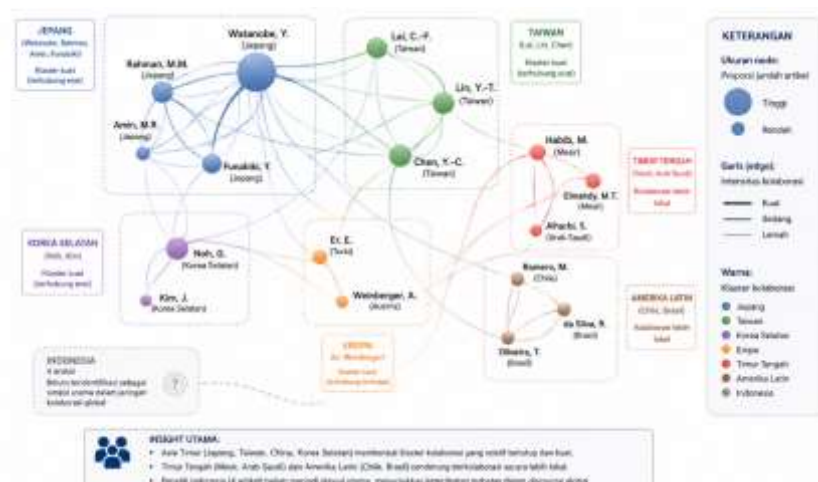
Analisis Penulis dan Jaringan Ko-Autoritas

Analisis penulis mengidentifikasi 10 penulis paling produktif berdasarkan jumlah artikel dalam corpus. Yusuke Watanobe dari University of Aizu, Jepang, adalah penulis paling produktif (6 artikel), diikuti Rahman M.M. (5 artikel) dari institusi yang sama sebuah indikasi kuat adanya kelompok riset yang sangat aktif dan produktif di institusi tersebut.

Tabel 3. Sepuluh Penulis Paling Produktif dalam Corpus (2020–2025)

Penulis	N	Afiliasi	Topik Utama
Watanobe Y.	6	University of Aizu, Japan	Programming education, ML
Rahman M.M.	5	University of Aizu / Tulane Univ., Japan/USA	AI in education, source code analysis
Lai C.-H.	5	National Central University, Taiwan	Programming learning, AI
Amin M.F.I.	3	University of Aizu, Japan	BERT, error analysis
Kim H.	3	Korea University, South Korea	Digital literacy, CT
Lin C.-Y.	3	National Taipei Univ. of Technology, Taiwan	Programming education
Funabiki N.	3	Okayama University, Japan	Programming learning systems
Cubillos C.	2	Pontificia Univ. Católica de Valparaíso, Chile	AI, coding education
Alanazi M.	2	King Abdulaziz Univ., Saudi Arabia	AI in education
Samra H.	2	Assut University, Egypt	Programming, ML

Jaringan ko-otoritas menunjukkan pola yang menarik: kelompok peneliti dari Asia Timur (Jepang, Taiwan, China, Korea Selatan) membentuk klaster kolaborasi yang relatif tertutup, sementara peneliti dari Timur Tengah (Mesir, Arab Saudi) dan Amerika Latin (Chile, Brasil) cenderung berkolaborasi secara lebih lokal. Peneliti dari Indonesia (4 artikel) belum teridentifikasi sebagai simpul utama dalam jaringan kolaborasi global, mengindikasikan masih terbatasnya kontribusi dan keterlibatan peneliti Indonesia dalam mainstream discourse ini.



Gambar 2. Jaringan Ko-Autoritas Penelitian AI dalam Pendidikan Pemrograman (VOSviewer)

Analisis Distribusi Geografis

Analisis distribusi geografis berdasarkan afiliasi institusi penulis mengungkapkan dominasi Asia Timur yang sangat jelas dalam penelitian ini. Jepang (18), Taiwan (17), dan China (15) bersama-sama menyumbang 37,9% dari seluruh artikel dalam corpus. Amerika Serikat (8) berada di posisi keempat, diikuti Saudi Arabia (7) dan Turki (7).

Tabel 4. Distribusi Publikasi Berdasarkan Negara Afiliasi Penulis (2020–2025)

Negara	N	%	Institusi Utama
Japan	18	13,64%	University of Aizu, Okayama Univ.
Taiwan	17	12,88%	National Central Univ., Nat. Taipei Univ. Tech.
China	15	11,36%	Capital Normal Univ., Zhejiang Univ.
United States	8	6,06%	Tulane Univ., various
Saudi Arabia	7	5,30%	King Abdulaziz Univ., KFU
Turkey	7	5,30%	Trabzon Univ., various
United Kingdom	6	4,55%	UK Research and Innovation-funded
Egypt	6	4,55%	Assiut Univ., various
Australia	5	3,79%	Various universities
Indonesia	4	3,03%	Various institutions

Pola geografis ini memiliki implikasi penting. Pertama, dominasi Asia Timur (khususnya Jepang dan Taiwan) dalam penelitian ini mencerminkan kekuatan ekosistem riset CS education di kawasan tersebut, didukung oleh investasi besar dalam infrastruktur riset dan kebijakan pendidikan yang pro-teknologi. Kedua, kehadiran Indonesia (4 artikel) di posisi kesepuluh menunjukkan potensi yang ada, namun juga kesenjangan yang signifikan dibanding negara-negara pemimpin. Ketiga, hampir tidak ada artikel dari Afrika Sub-Sahara dan sebagian besar negara berkembang di Asia Tenggara (selain Indonesia dan Malaysia), yang mengindikasikan bahwa penelitian di bidang ini masih sangat terkonsentrasi di negara-negara dengan infrastruktur riset yang mapan.



Gambar 3. Peta Kolaborasi Internasional Antar Negara dalam Penelitian AI dan Pendidikan Pemrograman

Analisis Ko-Kemunculan Kata Kunci dan Pemetaan Tematik

Analisis ko-kemunculan kata kunci menggunakan threshold minimum 3 kemunculan menghasilkan 47 kata kunci unik yang membentuk jaringan dengan 5 kluster tematik yang dapat diidentifikasi secara jelas. Tabel 5 menyajikan 15 kata kunci dengan frekuensi tertinggi beserta klasifikasinya.

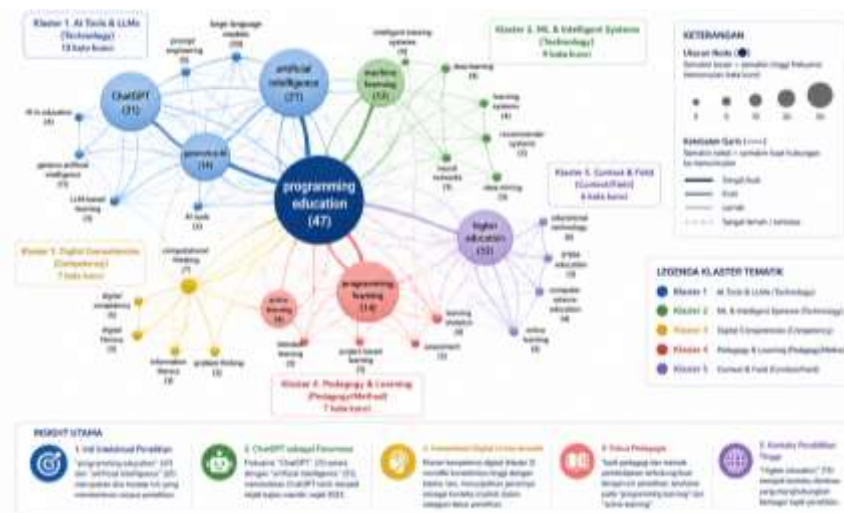
Tabel 5. Kata Kunci Dominan dalam Penelitian AI dan Pendidikan Pemrograman (2020–2025)

Kata Kunci	Frekuensi	%	Kluster	Interpretasi
programming education	47	35,61%	Core Topic	Tema inti penelitian
artificial intelligence	21	15,91%	Technology	AI sebagai alat pembelajaran
ChatGPT	21	15,91%	Technology	Penggunaan LLM dalam pendidikan
programming learning	14	10,61%	Core Topic	Proses belajar pemrograman
generative AI	14	10,61%	Technology	GenAI tools untuk coding
machine learning	13	9,85%	Technology	ML dalam sistem pendidikan
higher education	13	9,85%	Context	Konteks perguruan tinggi
generative artificial intelligence	11	8,33%	Technology	Emerging tools
large language models	10	7,58%	Technology	LLM untuk education
computational thinking	7	5,30%	Competency	Berpikir komputasional
educational technology	6	4,55%	Field	Bidang EdTech
digital competency	5	3,79%	Competency	Kompetensi digital
prompt engineering	5	3,79%	Skill	Keterampilan prompt
learning analytics	4	3,03%	Method	Analitik pembelajaran
active learning	4	3,03%	Pedagogy	Strategi pembelajaran aktif

Frekuensi tinggi kata kunci 'programming education' (47 kemunculan, 35,61%) dan 'artificial intelligence' (21 kemunculan) mengkonfirmasi bahwa kedua konsep ini merupakan inti intelektual dari corpus penelitian. Yang sangat menarik adalah kemunculan 'ChatGPT' sebagai kata kunci dengan frekuensi setara 'artificial

intelligence' (keduanya 21 kemunculan), mengindikasikan bahwa sejak 2023, ChatGPT telah menjadi fenomena penelitian tersendiri bukan sekadar contoh implementasi AI, melainkan objek kajian yang memiliki karakteristik unik.

Klaster 3 yang mengelompokkan 'digital competency', 'computational thinking', 'digital literacy', dan 'ICT skills' memiliki implikasi langsung bagi kerangka kompetensi guru. Meskipun klaster ini memiliki ukuran lebih kecil dibanding klaster AI tools (klaster 1) dan ML systems (klaster 2), kepadatan koneksinya dengan klaster lain relatif tinggi mengindikasikan bahwa topik kompetensi digital bersifat lintas-tematik dan hadir sebagai konteks implisit dalam sebagian besar penelitian, meskipun tidak selalu menjadi fokus eksplisit.



Gambar 4. Peta Ko-Kemunculan Kata Kunci (Keyword Co-occurrence Network)

Tematik Map dan Klaster Penelitian

Berdasarkan analisis pemetaan tematik dengan pendekatan Callon et al. (1991) yang mengklasifikasikan tema berdasarkan density (perkembangan internal) dan centrality (relevansi eksternal), lima klaster tematik dapat dipetakan ke dalam empat kuadran tematik map.

Tabel 6. Pemetaan Klaster Tematik Penelitian AI dalam Pendidikan Pemrograman

Klaster	Tema Utama	Kata Kunci Representatif	Proporsi	Kekuatan Ikatan
Klaster 1	AI Tools & LLM dalam Coding Education	ChatGPT, Generative AI, LLM, Prompt Engineering	Dominan (47 artikel)	Sangat Tinggi
Klaster 2	Machine Learning untuk Sistem Pendidikan Pemrograman	ML, Educational Data Mining, Learning Analytics, Clustering	Substansial (31 artikel)	Tinggi
Klaster 3	Kompetensi Digital & Computational Thinking	Digital Competency, CT, Digital Literacy, ICT Skills	Berkembang (18 artikel)	Sedang
Klaster 4	Pengembangan Kurikulum & Pedagogi Vokasi	Vocational School, Higher Education, Curriculum, Active Learning	Emerging (12 artikel)	Rendah-Sedang
Klaster 5	Asesmen & Sistem Evaluasi Otomatis	Automated Assessment, Feedback, Online Judge, Code Error	Substansial (24 artikel)	Tinggi



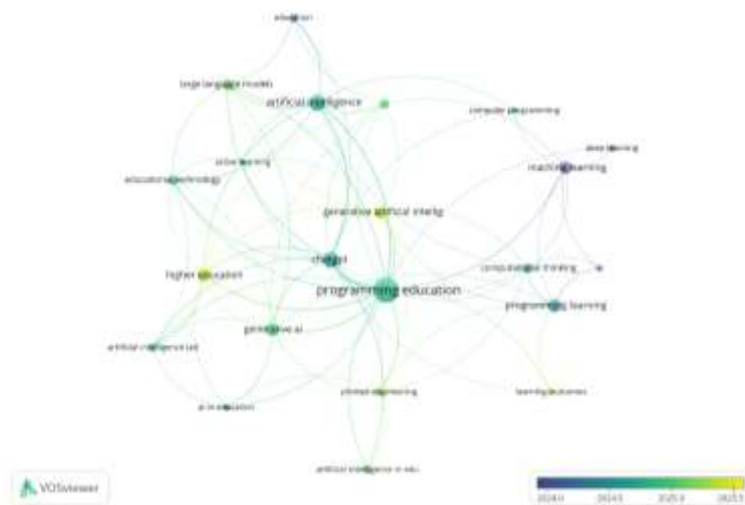
Gambar 5. Thematic Map Penelitian AI dan Kompetensi Digital dalam Pendidikan Pemrograman

Tematik map mengungkapkan sebuah temuan yang sangat signifikan: kluster AI Tools & LLM for Programming Systems berada di kuadran Motor Themes yakni tema-tema yang secara internal berkembang pesat (density tinggi) sekaligus memiliki pengaruh besar terhadap bidang lain (centrality tinggi). Kluster Automated Assessment berada di Niche Themes berkembang pesat secara internal namun kurang terhubung ke tema lain, menunjukkan spesialisasi yang dalam. Sementara itu, kluster Digital Competency & Computational Thinking dan Vocational Pedagogy menempati posisi yang berbeda: kluster kompetensi digital memiliki centrality yang relatif lebih tinggi (terhubung ke banyak tema lain) namun density yang lebih rendah, mengklasifikasikannya sebagai Basic/General Theme fondasi yang menopang seluruh struktur penelitian namun belum dikembangkan secara mendalam.

Posisi kluster Vocational Pedagogy di kuadran Emerging/Declining Themes (centrality rendah, density rendah) adalah temuan yang paling meresahkan namun sekaligus paling penting dari penelitian ini. Ini berarti bahwa meskipun konteks vokasi relevan secara konseptual, ia belum mendapatkan perhatian riset yang memadai ia adalah tema yang tengah tumbuh (emerging) namun belum mencapai massa kritisnya. Temuan ini justru memperkuat urgensi penelitian yang berfokus secara eksplisit pada nexus AI, kompetensi digital, dan pendidikan vokasi.

Overlay Visualization dan Perkembangan Temporal Penelitian

Overlay visualization menampilkan peta kata kunci yang sama dengan ko-kemunculan, namun node diwarnai berdasarkan rata-rata tahun publikasi artikel yang memuat kata kunci tersebut. Gradasi warna dari biru tua (topik lama/2020–2021) ke kuning-merah (topik baru/2025) mengungkapkan trajektori perkembangan yang sangat informatif.



Gambar 6. Overlay Visualization Perkembangan Temporal Penelitian (2020–2025)

Topik-topik yang mendominasi fase awal (2020–2021) seperti 'machine learning', 'educational data mining', dan 'e-learning' bergeser ke topik yang lebih spesifik tentang generative AI sejak 2023. Topik 'digital competency' dan 'vocational education' muncul sebagai topik yang lebih baru (warna kuning-oranye), mengkonfirmasi statusnya sebagai tema yang sedang tumbuh.

Analisis Artikel Paling Banyak Disitasi

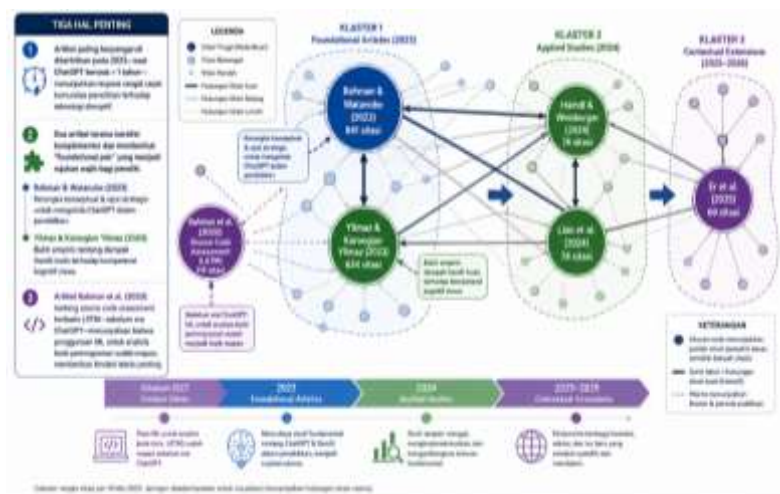
Analisis artikel paling banyak disitasi mengungkapkan tiga hal penting. Pertama, artikel yang paling berpengaruh adalah yang diterbitkan pada 2023 saat ChatGPT baru berusia kurang dari satu tahun mengindikasikan bahwa komunitas penelitian merespons sangat cepat terhadap fenomena teknologi baru yang disruptif. Kedua, dua artikel teratas (Rahman & Watanobe, 2023 dengan 841 sitasi; Yilmaz & Karaoglan Yilmaz, 2023 dengan 634 sitasi) bersifat komplementer: yang pertama memberikan kerangka konseptual dan opsi strategis untuk mengelola ChatGPT dalam pendidikan, sementara yang kedua menyediakan bukti empiris tentang dampak GenAI tools terhadap kompetensi kognitif siswa.

Tabel 7. Sepuluh Artikel Paling Banyak Disitasi dalam Corpus (2020–2025)

Penulis	Tahun	Judul	Jurnal	Sitasi
Rahman & Watanobe	2023	ChatGPT for Education and Research: Opportunities, Threats, and Strategies	Applied Sciences	841
Yilmaz & Karaoglan Yilmaz	2023	The effect of generative AI-based tool use on students' computational thinking skills, programming self-efficacy and motivation	Computers and Education: AI	634
Haindl & Weinberger	2024	Students' Experiences of Using ChatGPT in an Undergraduate Programming Course	IEEE Access	76
Liao et al.	2024	Scaffolding Computational Thinking With ChatGPT	IEEE Trans. Learning Technologies	74
Er et al.	2025	Assessing student perceptions and use of instructor versus AI-generated feedback	British J. Educational Technology	69
Mai et al.	2022	Learning behaviours data in programming education: Community analysis and outcome prediction	Future Generation Computer Systems	64
Jing et al.	2024	What factors will affect the effectiveness of using ChatGPT to solve programming problems?	Humanities and Social Sciences Comm.	62
Rahman et al.	2020	Source Code assessment based on estimated error probability using attentive LSTM	Applied Sciences	61
Aydınlar et al.	2024	Awareness and level of digital literacy among students receiving health-based education	BMC Medical Education	59
Braune et al.	2022	A genetic programming learning approach to generate dispatching rules	Int. J. Production Economics	57

Bersama-sama, keduanya membentuk 'foundational pair' yang menjadi rujukan wajib bagi peneliti bidang ini. Ketiga, artikel dari Rahman et al. (2020) tentang source code assessment berbasis LSTM yang terbit sebelum era ChatGPT menunjukkan bahwa penggunaan ML untuk analisis kode pemrograman sudah

menjadi topik yang mapan bahkan sebelum booming generative AI, memberikan fondasi teknis yang penting.



Gambar 8. Jaringan Sitasi Artikel-artikel Berpengaruh dalam Corpus

Sintesis Literatur: Temuan Kunci Penelitian Terpilih

Tabel di 8 merangkum hasil kajian literatur dari sepuluh studi yang diterbitkan antara tahun 2023 hingga 2025, yang berasal dari berbagai negara seperti Jepang, Turki, Austria, China, Korea Selatan, dan Kroasia. Studi-studi tersebut menggunakan beragam pendekatan metodologis mulai dari analisis konseptual, eksperimen kuasi, mixed methods, survei kuantitatif, hingga analisis data nasional berskala besar (n=14.468 siswa) yang mencerminkan keluasan dan keragaman cara peneliti mengkaji dampak kecerdasan buatan generatif (GenAI) terhadap pendidikan, khususnya dalam konteks pemrograman dan pendidikan vokasi.

Tabel 8. Sintesis Literatur: Penelitian Kunci tentang AI, Kompetensi Digital, dan Pendidikan Pemrograman (2020–2025)

Penulis	Tahun	Negara	Metode	Sampel	Temuan Utama
Rahman & Watanobe	2023	Jepang/Int'l	Analisis konseptual	N/A	ChatGPT membuka peluang besar dalam pendidikan, namun mengancam integritas akademik; perlu kebijakan etis
Yilmaz & Karaoglan Yilmaz	2023	Turki	Eksperimen kuasi	n=127 mahasiswa	Alat GenAI meningkatkan computational thinking, self-efficacy, dan motivasi belajar pemrograman secara signifikan
Haindl & Weinberger	2024	Austria	Mixed methods	n=214 mahasiswa	Mahasiswa menggunakan ChatGPT sebagai tutor personal; persepsi positif namun muncul risiko ketergantungan
Liao et al.	2024	China/Int'l	Quasi-experiment	n=89 mahasiswa	Scaffolding berbasis ChatGPT meningkatkan CT; pendekatan bertahap lebih efektif dari bantuan langsung

Penulis	Tahun	Negara	Metode	Sampel	Temuan Utama
Er et al.	2025	Turki/Belanda	Mixed methods survey	n=310 mahasiswa	Umpan balik AI dianggap lebih objektif; guru perlu meningkatkan kualitas umpan balik personal
Choi et al.	2025	Korea Selatan	Survei kuantitatif	n=486 mahasiswa	Kompetensi digital menjadi kompetensi kerja fundamental di era AI; gap antara kebutuhan industri dan kurikulum
Annuš	2025	Kroasia	Studi kasus	n=67 siswa SMK IT	Adopsi GenAI di sekolah vokasi IT berjalan lebih cepat; siswa menggunakan AI mandiri tanpa panduan pedagogis
Gong et al.	2025	China	Eksperimen	n=44 mahasiswa	Prompt progeneratif meningkatkan CT dan HCI; pola interaksi berbeda antara CT tinggi dan rendah
Aydınlar et al.	2024	Turki	Survei	n=342 mahasiswa	Literasi digital mahasiswa kesehatan masih perlu ditingkatkan; relevan untuk semua bidang vokasi
Noh et al.	2025	Korea Selatan	Analisis data nasional	n=14.468 siswa	Faktor ICT literacy dan computational thinking dapat diprediksi dengan ML; minat gender mempengaruhi CT

Secara keseluruhan, temuan-temuan dalam tabel menunjukkan bahwa penggunaan AI seperti ChatGPT memberikan dampak positif yang signifikan terhadap pembelajaran, terutama dalam meningkatkan computational thinking (CT), self-efficacy, dan motivasi belajar mahasiswa. Studi dari Yilmaz & Karaoglan Yilmaz (2023), Liao et al. (2024), dan Gong et al. (2025) secara konsisten menunjukkan bahwa pendekatan berbasis AI terutama yang bersifat bertahap dan terstruktur seperti scaffolding dan prompt progeneratif lebih efektif dibandingkan bantuan langsung. Di sisi lain, beberapa studi seperti Haindl & Weinberger (2024) dan Rahman & Watanobe (2023) juga memperingatkan adanya risiko ketergantungan dan ancaman terhadap integritas akademik, sehingga adopsi AI perlu disertai kebijakan pedagogis yang etis dan terarah.

Tabel 8 juga menyoroti isu kesiapan institusi dan kesenjangan kompetensi di era AI. Choi et al. (2025) menemukan adanya gap antara kebutuhan industri dan kurikulum pendidikan terkait kompetensi digital, sementara Annuš (2025) mencatat bahwa siswa vokasi IT di Kroasia telah mengadopsi GenAI secara mandiri tanpa panduan pedagogis yang memadai. Hal ini diperkuat oleh temuan Aydınlar et al. (2024) mengenai perlunya peningkatan literasi digital, serta Noh et al. (2025) yang menunjukkan bahwa faktor ICT literacy dan CT dapat diprediksi secara komputasional dengan minat berbasis gender turut memengaruhi perkembangan CT siswa. Secara kolektif, studi-studi ini menegaskan urgensi pengintegrasian AI secara sistematis dan kritis dalam kurikulum pendidikan modern.

Pembahasan

Implikasi untuk Kerangka Kompetensi Digital Guru Vokasi

Pemetaan bibliometrik ini memungkinkan kita untuk membangun sebuah argumen berbasis bukti mengenai dimensi-dimensi kompetensi digital yang harus dimiliki guru vokasi khususnya guru bidang IT dan pemrograman dalam lanskap AI saat ini. Setidaknya empat dimensi kompetensi digital yang baru dan urgen dapat diturunkan dari temuan penelitian ini.

Pertama, AI tool literacy kemampuan memahami cara kerja, kapabilitas, dan keterbatasan berbagai AI tools yang relevan dengan pendidikan pemrograman (ChatGPT, GitHub Copilot, Gemini, dll.). Ini bukan

sekadar kemampuan 'menggunakan' tools tersebut, tetapi kemampuan memilih tools yang tepat untuk tujuan pedagogis yang spesifik. Rahman dan Watanobe (2023) menekankan bahwa tanpa pemahaman yang kritis tentang AI, pendidik akan kesulitan merancang batasan penggunaan yang pedagogis bermakna.

Kedua, prompt engineering pedagogy kemampuan merancang, mengevaluasi, dan memperbaiki prompts untuk mencapai tujuan pembelajaran yang diinginkan. Gong et al. (2025) dan penelitian serupa menunjukkan bahwa tidak semua cara berinteraksi dengan AI sama efektifnya; interaksi yang dangkal menghasilkan hasil belajar yang dangkal pula. Guru yang kompeten harus mampu membimbing siswa dari pola interaksi pasif (exploratory) menuju pola aktif dan produktif (debating, summarizing, synthesizing).

Ketiga, AI-mediated assessment design kemampuan merancang tugas dan penilaian yang bermakna di era di mana AI dapat menghasilkan jawaban 'benar' untuk sebagian besar soal pemrograman konvensional. Er et al. (2025) dan Haindl dan Weinberger (2024) secara konsisten menunjukkan bahwa guru vokasi perlu menggeser fokus asesmen dari produk kode ke proses berpikir komputasional dan ini membutuhkan kompetensi asesmen yang berbeda secara fundamental dari apa yang diajarkan dalam program pendidikan guru konvensional.

Keempat, critical AI integration ethics kemampuan mengintegrasikan diskusi etika AI ke dalam pembelajaran pemrograman secara alamiah, bukan sebagai materi terpisah yang dipaksakan. Ini mencakup kemampuan mendiskusikan isu-isu seperti academic integrity, cognitive dependency, algorithmic bias, dan tanggung jawab programmer dalam era AI kompetensi yang belum memiliki tempat eksplisit dalam kerangka DigCompEdu maupun framework kompetensi guru vokasi yang ada di Indonesia.

Kesenjangan Penelitian

Analisis bibliometrik ini juga mengungkapkan secara eksplisit apa yang belum atau belum cukup dijawab oleh komunitas penelitian global. Setidaknya ada tiga kesenjangan yang sangat signifikan. Kesenjangan pertama adalah konteks TVET yang sangat minim. Dari 106 artikel dalam corpus, hanya 1 artikel yang secara eksplisit berfokus pada konteks vocational secondary school (Annuš, 2025), sementara mayoritas penelitian berlangsung di konteks higher education (perguruan tinggi umum). Temuan Annuš (2025) di sekolah vokasi IT Kroasia sangat menarik: siswa vokasi secara mandiri mengadopsi ChatGPT untuk pembelajaran pemrograman tanpa panduan pedagogis yang memadai dari guru. Ini adalah indikasi kuat bahwa ada kebutuhan mendesak untuk penelitian yang secara spesifik mengkaji dinamika adopsi AI di setting TVET.

Kesenjangan kedua adalah perspektif guru yang hampir absen. Hampir semua penelitian dalam corpus berfokus pada perspektif siswa bagaimana AI memengaruhi hasil belajar, motivasi, dan self-efficacy siswa. Perspektif guru bagaimana mereka mengalami, mengadaptasi, dan mengelola integrasi AI dalam praktik mengajar sangat jarang diteliti. Satu-satunya pengecualian dalam corpus adalah Er et al. (2025) yang membahas persepsi instruktur tentang AI-generated feedback. Ketiadaan penelitian tentang teacher experience ini adalah kesenjangan yang sangat krusial, khususnya untuk membangun program pengembangan profesional guru yang efektif.

Kesenjangan ketiga adalah under-representasi negara berkembang dan Global South. Dengan Indonesia hanya menyumbang 4 artikel (3%), dan seluruh Afrika, Asia Selatan, dan sebagian besar Asia Tenggara hampir tidak terwakili, ada risiko bahwa pengetahuan yang dihasilkan dan kerangka kompetensi yang diderivasi dari penelitian ini merefleksikan realitas dan kapasitas negara maju, bukan negara berkembang. Infrastruktur teknologi yang berbeda, kesenjangan akses internet, dan keterbatasan sumber daya guru di negara berkembang menciptakan konteks yang sangat berbeda yang membutuhkan penelitian tersendiri.

Kontribusi Penelitian terhadap Diskursus TVET dan Educational Technology

Penelitian ini memberikan setidaknya tiga kontribusi orisinal. Pertama, penelitian ini adalah sejauh yang dapat diverifikasi salah satu analisis bibliometrik pertama yang secara eksplisit memetakan persimpangan antara AI/ML, pendidikan pemrograman, dan kompetensi digital dalam kerangka TVET, menggunakan data Scopus yang terkini hingga 2025. Sebagian besar studi bibliometrik sebelumnya dalam bidang ini tidak menggunakan data yang mencakup periode post-ChatGPT secara komprehensif.

Kedua, pemetaan tematik lima klaster dan tematik map yang dihasilkan menyediakan kerangka konseptual yang dapat digunakan oleh perancang kurikulum dan pengembang program pelatihan guru vokasi sebagai dasar mengidentifikasi apa yang perlu dimasukkan dalam modul pengembangan kompetensi digital. Klaster yang ditemukan bukan sekadar deskripsi topik ia juga merepresentasikan domain kompetensi yang perlu dikuasai guru. Ketiga, temuan tentang posisi 'Vocational Pedagogy & TVET Context' sebagai emerging theme dengan density dan centrality rendah memberikan legitimasi akademis bagi peneliti dari

negara berkembang termasuk Indonesia untuk mengisi kesenjangan ini. Ini adalah panggilan yang jelas bagi komunitas peneliti TVET nasional untuk berkontribusi dalam membangun pengetahuan yang kontekstualis dan relevan dengan realitas pendidikan vokasi di negara berkembang.

Simpulan

Penelitian ini telah berhasil memetakan lanskap global penelitian tentang AI, machine learning, dan kompetensi digital dalam pendidikan pemrograman selama periode 2020–2025 melalui analisis bibliometrik sistematis terhadap 106 artikel terindeks Scopus. Beberapa temuan utama yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut. Pertama, tren publikasi menunjukkan pertumbuhan eksponensial yang sangat dramatis dipicu oleh kemunculan ChatGPT pada akhir 2022 dan proliferasi generative AI tools sesudahnya. Dengan 62 artikel pada 2025 saja, bidang ini telah berkembang menjadi mainstream research area dengan produktivitas yang sangat tinggi. Kedua, dominasi Asia Timur (Jepang, Taiwan, China) dalam kontribusi penelitian mengindikasikan adanya ekosistem riset yang kuat di kawasan tersebut, sementara kontribusi dari negara berkembang termasuk Indonesia masih sangat terbatas dan perlu ditingkatkan. Ketiga, lima kluster tematik yang teridentifikasi (AI Tools & LLM, ML Systems, Digital Competency, Vocational Pedagogy, Automated Assessment) menggambarkan ekosistem penelitian yang multidimensional, dengan AI Tools & LLM sebagai motor utama dan Digital Competency sebagai tema fundamental yang belum sepenuhnya tergal. Keempat, analisis kesenjangan mengungkapkan bahwa konteks TVET, perspektif guru, dan setting negara berkembang merupakan wilayah yang sangat kurang terwakili dalam literatur sebuah kondisi yang justru membuka peluang besar bagi peneliti TVET di Indonesia untuk berkontribusi secara signifikan. Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi dengan menyediakan peta konseptual berbasis data empiris yang dapat digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan atau merevisi kerangka kompetensi digital guru vokasi. Secara praktis, temuan penelitian ini memiliki relevansi langsung bagi pengembang kurikulum pendidikan guru vokasi, pengambil kebijakan TVET, dan lembaga pelatihan dan pengembangan profesi guru di Indonesia. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, pembatasan pada database Scopus (hanya open access) berarti ada kemungkinan artikel-artikel penting yang tidak terindeks Scopus atau berstatus non-open access tidak tercakup. Kedua, boolean search yang digunakan meski dirancang secara hati-hati tetap tidak dapat menangkap seluruh variasi terminologi yang mungkin relevan (misalnya istilah-istilah bahasa selain Inggris). Ketiga, analisis bibliometrik tidak dapat menggantikan analisis mendalam terhadap konten dan argumen setiap artikel ia memetakan struktur pengetahuan, bukan kualitas argumennya. Oleh karena itu, penelitian ini sebaiknya dipandang sebagai langkah pertama dalam serangkaian penelitian yang lebih komprehensif. Berdasarkan temuan ini, beberapa arah penelitian masa depan yang direkomendasikan adalah: (1) studi empiris tentang profil kompetensi digital guru vokasi IT di Indonesia menggunakan instrumen yang dikembangkan dari kluster tematik penelitian ini; (2) pengembangan dan validasi kerangka kompetensi digital guru TVET yang secara eksplisit mengintegrasikan literasi AI dan prompt engineering; (3) penelitian lintas negara (cross-national study) yang membandingkan model adopsi AI dalam pendidikan pemrograman vokasi di konteks berbeda; serta (4) systematic literature review mendalam terhadap kluster Digital Competency dan Vocational Pedagogy dua tema yang dalam penelitian ini teridentifikasi sebagai underdeveloped namun sangat penting.

References

- Amin, M. F. I., Watanobe, Y., Rahman, M. M., & Shirafuji, A. (2025). Source Code Error Understanding Using Bert For Multi-Label Classification. *Ieee Access*, 13, 3802–3822. <https://doi.org/10.1109/Access.2024.3525061>
- Annuš, N. (2025). Investigation Of Generative Ai Adoption In It-Focused Vocational Secondary School Programming Education. *Education Sciences*, 15(9), 1152. <https://doi.org/10.3390/Educsci15091152>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-Tool For Comprehensive Science Mapping Analysis. *Journal Of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.Joi.2017.08.007>
- Aydınlı, A., Mavi, A., Kütükçü, E., Kırımlı, E. E., Alış, D., Akın, A., & Altıntaş, L. (2024). Awareness And Level Of Digital Literacy Among Students Receiving Health-Based Education. *Bmc Medical Education*, 24(1), Article 418. <https://doi.org/10.1186/S12909-024-05025-W>
- Callon, M., Courtial, J. P., & Laville, F. (1991). Co-Word Analysis As A Tool For Describing The Network Of Interactions Between Basic And Technological Research: The Case Of Polymer Chemistry. *Scientometrics*, 22(1), 155–205. <https://doi.org/10.1007/Bf02019280>

- Carretero, S., Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). Digcomp 2.1: The Digital Competence Framework For Citizens With Eight Proficiency Levels And Examples Of Use. Publications Office Of The European Union. <https://doi.org/10.2760/38842>
- Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G.-J. (2020). Application And Theory Gaps During The Rise Of Artificial Intelligence In Education. *Computers And Education: Artificial Intelligence*, 1, Article 100002. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100002>
- Choi, S., Jang, Y., & Kim, H. (2025). Exploring Digital Competency As A Fundamental Job Competency In Higher Education. *International Journal On Informatics Visualization*, 9(3), Article 4253. <https://doi.org/10.62527/Joiv.9.3.4253>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How To Conduct A Bibliometric Analysis: An Overview And Guidelines. *Journal Of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Er, E., Akçapınar, G., Bayazıt, A., Noroozi, O., & Banihashem, S. K. (2025). Assessing Student Perceptions And Use Of Instructor Versus Ai-Generated Feedback. *British Journal Of Educational Technology*, 56(1), 45–62. <https://doi.org/10.1111/Bjet.13574>
- Gong, X., Xu, W., & Qiao, A. (2025). Exploring Undergraduates' Computational Thinking And Human-Computer Interaction Patterns In Generative Progressive Prompt-Assisted Programming Learning. *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 22(1), Article 51. <https://doi.org/10.1186/S41239-025-00552-Y>
- Haindl, P., & Weinberger, G. (2024). Students' Experiences Of Using Chatgpt In An Undergraduate Programming Course. *Ieee Access*, 12, 76726–76740. <https://doi.org/10.1109/Access.2024.3405702>
- Jing, Y., Wang, H., Chen, X., & Wang, C. (2024). What Factors Will Affect The Effectiveness Of Using Chatgpt To Solve Programming Problems? A Quasi-Experimental Study. *Humanities And Social Sciences Communications*, 11(1), Article 718. <https://doi.org/10.1057/S41599-024-03197-4>
- Liao, J., Zhong, L., Zhe, L., Xu, H., Liu, M., & Xie, T. (2024). Scaffolding Computational Thinking With Chatgpt. *Ieee Transactions On Learning Technologies*, 17, 1253–1266. <https://doi.org/10.1109/Tlt.2024.3356763>
- Li, H.-J., Huang, Q.-R., Wen, L.-P., Chen, W., & Xu, Z.-Z. (2025). Generative Artificial Intelligence Supported Programming Learning: Learning Effectiveness And Core Competence. *Sage Open*, 15(1). <https://doi.org/10.1177/21582440251377986>
- Mai, T. T., Bezbradica, M., & Crane, M. (2022). Learning Behaviours Data In Programming Education: Community Analysis And Outcome Prediction With Cleaned Data. *Future Generation Computer Systems*, 127, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.08.026>
- Mia, M. S., Watanobe, Y., Rahman, M. M., Amin, M. F. I., & Muepu, D. M. (2025). Attention-Driven Clustering Of Programming Problem Difficulty Using Statistical And Machine Learning Techniques. *Ieee Access*, 13, 155425–155446. <https://doi.org/10.1109/Access.2025.3606125>
- Noh, H., Kim, H., & Kim, H. (2025). Explainable Machine Learning For Predicting Computational Thinking Proficiency In K-12 Students Using National-Level Data. *Ieee Access*, 13, Article 3634996. <https://doi.org/10.1109/Access.2025.3634996>
- Nore, H., & Lahn, L. C. (2014). Bridging The Gap Between Work And Education In Vocational Education And Training. *Journal Of Vocational Education & Training*, 66(4), 531–544. <https://doi.org/10.1080/13636820.2014.964394>
- Park, H., Kim, J., & Lee, W. (2022). Development Of Cnn-Based Data Crawler To Support Learning Block Programming. *Mathematics*, 10(13), Article 2223. <https://doi.org/10.3390/Math10132223>
- Pritchard, A. (1969). Statistical Bibliography Or Bibliometrics? *Journal Of Documentation*, 25(4), 348–349.
- Rahman, M. M., & Watanobe, Y. (2023). Chatgpt For Education And Research: Opportunities, Threats, And Strategies. *Applied Sciences*, 13(9), Article 5783. <https://doi.org/10.3390/App13095783>
- Rahman, M. M., Watanobe, Y., & Nakamura, K. (2020). Source Code Assessment And Classification Based On Estimated Error Probability Using Attentive Lstm Language Model And Its Application In Programming Education. *Applied Sciences*, 10(8), Article 2973. <https://doi.org/10.3390/App10082973>
- Redecker, C. (2017). European Framework For The Digital Competence Of Educators: Digcompedu. Publications Office Of The European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Unesco-Unevoc. (2021). Skills For Work And Life In The Digital Age: Tvets Role. Unesco-Unevoc International Centre.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software Survey: Vosviewer, A Computer Program For Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/S11192-009-0146-3>

- World Economic Forum. (2023). The Future Of Jobs Report 2023. World Economic Forum.
- Yilmaz, R., & Karaoglan Yilmaz, F. G. (2023). The Effect Of Generative Artificial Intelligence (Ai)-Based Tool Use On Students' Computational Thinking Skills, Programming Self-Efficacy And Motivation. *Computers And Education: Artificial Intelligence*, 4, Article 100147. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100147>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic Review Of Research On Artificial Intelligence Applications In Higher Education – Where Are The Educators? *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 16(1), Article 39. <https://doi.org/10.1186/S41239-019-0171-0>
- Braune, R., Branke, J., & Pickardt, C. W. (2022). A Genetic Programming Learning Approach To Generate Dispatching Rules For Complex Dynamic Scheduling Problems. *International Journal Of Production Economics*, 243, Article 108342. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108342>
- Chan, C. K. Y. (2023). A Comprehensive Ai Policy Education Framework For University Teaching And Learning. *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 20(1), Article 38. <https://doi.org/10.1186/S41239-023-00408-3>
- Cotton, D. R. E., Cotton, P. A., & Shipway, J. R. (2024). Chatting And Cheating: Ensuring Academic Integrity In The Era Of Chatgpt. *Innovations In Education And Teaching International*, 61(2), 228–239. <https://doi.org/10.1080/14703297.2023.2190148>
- Deng, R., Jiang, M., Yu, X., Lu, Y., & Liu, S. (2025). Does Chatgpt Enhance Student Learning? A Systematic Review And Meta-Analysis Of Experimental Studies. *Computers & Education*, 227, Article 105224. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105224>
- Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Koohang, A., Raghavan, V., Ahuja, M., Albanna, H., Albashrawi, M. A., Al-Busaidi, A. S., Balakrishnan, J., Barlette, Y., Basu, S., Bose, I., Brooks, L., Buhalis, D., & Wright, R. (2023). “So What If Chatgpt Wrote It?” Multidisciplinary Perspectives On Opportunities, Challenges And Implications Of Generative Conversational Ai For Research, Practice And Policy. *International Journal Of Information Management*, 71, Article 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>
- Gilson, A., Safranek, C. W., Huang, T., Socrates, V., Chi, L., Taylor, R. A., & Chartash, D. (2023). How Does Chatgpt Perform On The United States Medical Licensing Examination? The Implications Of Large Language Models For Medical Education And Knowledge Assessment. *Jmir Medical Education*, 9(1), Article E45312. <https://doi.org/10.2196/45312>
- Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., Holstein, K., Sutherland, E., Baker, T., Shum, S. B., Santos, O. C., Rodrigo, M. T., Cukurova, M., Bittencourt, I. I., & Koedinger, K. R. (2022). Ethics Of Ai In Education: Towards A Community-Wide Agenda. *International Journal Of Artificial Intelligence In Education*, 32(2), 504–526. <https://doi.org/10.1007/S40593-021-00239-1>
- Hwang, G.-J., & Chang, C.-Y. (2023). A Review Of Opportunities And Challenges Of Chatbots In Education. *Interactive Learning Environments*, 31(7), 4099–4112. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1952615>
- Jeon, J., & Lee, S. (2023). Large Language Models In Education: A Focus On The Complementary Relationship Between Human Teachers And Chatgpt. *Education And Information Technologies*, 28(12), 15873–15892. <https://doi.org/10.1007/S10639-023-11834-1>
- Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., & Kasneci, G. (2023). Chatgpt For Good? On Opportunities And Challenges Of Large Language Models For Education. *Learning And Individual Differences*, 103, Article 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kavitha, K., Joshith, V. P., Rajeev, N. P., & Amritha, S. (2024). Artificial Intelligence In Higher Education: A Bibliometric Approach. *European Journal Of Educational Research*, 13(3), 1121–1137. <https://doi.org/10.12973/Eu-Jer.13.3.1121>
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge (Tpack)? Contemporary Issues In Technology And Teacher Education, 9(1), 60–70.
- Kong, S.-C. (2022). Research Landscape Of Computational Thinking In K-12 Education: A Review Of The Literature. *Journal Of Educational Computing Research*, 60(6), 1437–1474. <https://doi.org/10.1177/07356331221090793>
- Lamb, R. L., Annetta, L., Firestone, J., & Etopio, E. (2018). A Meta-Analysis With Examination Of Moderators Of Student Cognition, Affect, And Learning Outcomes While Using Serious Educational Games, Serious Games, And Simulations. *Computers In Human Behavior*, 80, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.10.040>

- Lo, C. K. (2023). What Is The Impact Of Chatgpt On Education? A Rapid Review Of The Literature. *Education Sciences*, 13(4), Article 410. <https://doi.org/10.3390/Educsci13040410>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence Unleashed: An Argument For Ai In Education*. Pearson.
- Messer, M., Brown, N. C. C., Kölling, M., & Shi, M. (2024). Automated Grading And Feedback Tools For Programming Education: A Systematic Review. *Acm Transactions On Computing Education*, 24(1), Article 10. <https://doi.org/10.1145/3636515>
- Moradi Dakhel, A., Majdinasab, V., Nikanjam, A., Khomh, F., Desmarais, M. C., & Jiang, Z. M. (2023). Github Copilot Ai Pair Programmer: Asset Or Liability? *Journal Of Systems And Software*, 203, Article 111734. <https://doi.org/10.1016/J.Jss.2023.111734>
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing Ai Literacy: An Exploratory Review. *Computers And Education: Artificial Intelligence*, 2, Article 100041. <https://doi.org/10.1016/J.Caeai.2021.100041>
- Oecd. (2021). *Ai And Education: Guidance For Policymakers*. Oecd Publishing. <https://doi.org/10.1787/Eydf77-En>
- Ouyang, F., Zheng, L., & Jiao, P. (2022). Artificial Intelligence In Online Higher Education: A Systematic Review Of Empirical Research From 2011 To 2020. *Education And Information Technologies*, 27(6), 7893–7925. <https://doi.org/10.1007/S10639-022-10925-9>
- Pedro, F., Subosa, M., Rivas, A., & Valverde, P. (2019). *Artificial Intelligence In Education: Challenges And Opportunities For Sustainable Development*. Unesco.
- Perkins, M. (2023). Academic Integrity Considerations Of Ai Large Language Models As Writing Tools: A Framework To Support Educators. *Journal Of University Teaching & Learning Practice*, 20(2), Article 7. <https://doi.org/10.53761/1.20.02.07>
- Prather, J., Denny, P., Leinonen, J., Becker, B. A., Albluwi, I., Caspersen, M. E., Craig, M., Keuning, H., Kiesler, N., Kohn, T., Luxton-Reilly, A., Macneil, S., Reeves, B. N., Savelka, J., Sheard, J., & Wermelinger, M. (2023). The Robots Are Here: Navigating The Generative Ai Revolution In Computing Education. In *Proceedings Of The 2023 Working Group Reports On Innovation And Technology In Computer Science Education* (Pp. 108–159). Acm. <https://doi.org/10.1145/3623762.3633499>
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution And Revolution In Artificial Intelligence In Education. *International Journal Of Artificial Intelligence In Education*, 26(2), 582–599. <https://doi.org/10.1007/S40593-016-0110-3>
- Rudolph, J., Tan, S., & Tan, S. (2023). Chatgpt: Bullshit Spewer Or The End Of Traditional Assessments In Higher Education? *Journal Of Applied Learning And Teaching*, 6(1), 342–363. <https://doi.org/10.37074/Jalt.2023.6.1.9>
- Sallam, M. (2023). Chatgpt Utility In Healthcare Education, Research, And Practice: Systematic Review On The Promising Perspectives And Valid Concerns. *Healthcare*, 11(6), Article 887. <https://doi.org/10.3390/Healthcare11060887>
- Selwyn, N. (2022). The Future Of Ai And Education: Some Cautionary Notes. *European Journal Of Education*, 57(4), 620–631. <https://doi.org/10.1111/Ejed.12532>
- Sun, D., Boudouaia, A., Zhu, C., & Li, Y. (2024). Would Chatgpt-Facilitated Programming Mode Impact College Students' Programming Behaviors, Performances, And Perceptions? An Empirical Study. *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 21(1), Article 14. <https://doi.org/10.1186/S41239-024-00446-5>
- Tikva, C., & Tambouris, E. (2021). Mapping Computational Thinking Through Programming In K-12 Education: A Conceptual Model Based On A Systematic Literature Review. *Computers & Education*, 162, Article 104083. <https://doi.org/10.1016/J.Compedu.2020.104083>
- Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., Hickey, D. T., Huang, R., & Agyemang, 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), Article 15. <https://doi.org/10.1186/S40561-023-00237-X>
- Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *Digcomp 2.2: The Digital Competence Framework For Citizens*. Publications Office Of The European Union. <https://doi.org/10.2760/115376>
- Wan, Z. H., Jiang, Y., & Zhan, Y. (2021). Stem Education In Early Childhood: A Review Of Empirical Studies. *Early Education And Development*, 32(7), 940–952. <https://doi.org/10.1080/10409289.2020.1814986>
- Wei, X., Lin, L., Meng, N., Tan, W., Yu, S., & Gasevic, D. (2023). The Application Of Large Language Models In Mathematics Education: A Systematic Review. *Heliyon*, 9(11), Article E22185. <https://doi.org/10.1016/J.Heliyon.2023.E22185>

- Wing, J. M. (2006). Computational Thinking. *Communications Of The Acm*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Xia, Q., Chiu, T. K. F., Zhou, X., Chai, C. S., & Cheng, M. (2023). Systematic Literature Review On Opportunities, Challenges, And Future Research Recommendations Of Artificial Intelligence In Education. *Computers And Education: Artificial Intelligence*, 4, Article 100118. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100118>
- Yan, D. (2023). Impact Of Chatgpt On Learners In A L2 Writing Practicum: An Exploratory Investigation. *Education And Information Technologies*, 28(11), 13943–13967. <https://doi.org/10.1007/S10639-023-11742-4>
- Zhang, K., & Aslan, A. B. (2021). Ai Technologies For Education: Recent Research & Future Directions. *Computers And Education: Artificial Intelligence*, 2, Article 100025. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025>
- Ziegler, A., Kalliamvakou, E., Li, A., Rice, A., Rifkin, D., Simister, S., Sittampalam, G., & Aftandilian, E. (2024). Measuring Github Copilot's Impact On Developer Productivity. *Communications Of The Acm*, 67(3), 54–63. <https://doi.org/10.1145/3626246>
- Zou, D., Xie, H., Wang, F. L., & Kwan, R. (2023). Bibliometric Analysis Of Artificial Intelligence In Education. *Interactive Learning Environments*, 31(6), 3826–3840. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1928498>