



Contents lists available at [Elora Center](#)

Lentera Negeri

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



Evolusi penelitian berpikir komputasional dalam pendidikan vokasi STEM (2015–2025): implikasi terhadap integrasi kurikulum dan asesmen

Wiki Lofandri^{*)}, Alzet Rama

Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received Oct 12th, 2025

Revised Nov 20th, 2025

Accepted Dec 31th, 2025

Keyword:

Berpikir komputasional

Pendidikan STEM

Pendidikan vokasi

Integrasi kurikulum

Asesmen

Bibliometrik

ABSTRACT

Berpikir komputasional (computational thinking/CT) telah berkembang menjadi salah satu kompetensi inti dalam pendidikan abad ke-21, khususnya dalam konteks pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics). Meskipun penelitian tentang CT dalam pendidikan umum terus berkembang pesat, integrasi CT dalam pendidikan vokasi (Technical and Vocational Education and Training/TVET) masih sangat minim dieksplorasi secara sistematis. Penelitian ini bertujuan menganalisis lanskap penelitian global mengenai CT dalam pendidikan STEM dengan fokus khusus pada integrasi kurikulum dan asesmen melalui pendekatan bibliometrik berbasis data Scopus. Analisis dilakukan terhadap 107 artikel dari 179 artikel final hasil seleksi bertahap menggunakan query Boolean TITLE-ABS-KEY ("computational thinking") AND (STEM OR "STEM education") AND (curriculum OR assessment) yang dipublikasikan pada rentang 2016–2026. Hasil analisis menunjukkan tren pertumbuhan eksponensial sejak 2021 dengan puncak pada 2025 (24 artikel), dominasi penelitian dari Amerika Serikat (24,3%), serta cluster tema utama: CT-STEM interdisipliner, robotika pendidikan, dan pengembangan profesional guru. Visualisasi VOSviewer mengidentifikasi empat cluster kata kunci dan menunjukkan bahwa tema assessment, curriculum development, dan vocational context merupakan emerging themes yang memerlukan perhatian lebih besar dari komunitas riset global. Penelitian ini memberikan peta jalan komprehensif bagi pengembangan kurikulum CT-STEM di pendidikan vokasi serta agenda penelitian masa depan yang strategis.



© 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

Era industri berbasis kecerdasan buatan dan otomasi telah mengubah secara fundamental lanskap ketenagakerjaan global. Forum Ekonomi Dunia (World Economic Forum, 2023) memproyeksikan bahwa sebesar 44% kompetensi tenaga kerja inti akan mengalami disrupsi signifikan dalam kurun waktu lima tahun ke depan, dan berpikir analitis berbasis komputasi menempati posisi teratas dalam daftar kompetensi yang paling dibutuhkan. Dalam konteks ini, kemampuan berpikir komputasional atau computational thinking (CT) bukan lagi sekadar kecakapan tambahan, melainkan fondasi esensial yang menentukan daya saing sumber daya manusia di tengah transformasi digital yang semakin akseleratif.

Konsep CT pertama kali dirumuskan secara formal oleh Jeannette Wing pada tahun 2006 sebagai sekumpulan proses kognitif yang mencakup dekomposisi, pengenalan pola, abstraksi, dan desain algoritma.

Sejak formulasi Wing tersebut, komunitas pendidikan global telah berlomba mengintegrasikan CT ke dalam berbagai jenjang dan bidang studi, terutama dalam klaster pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics). Integrasi ini didorong oleh keyakinan bahwa CT tidak hanya relevan dalam pendidikan komputer, melainkan juga dapat memperkuat pemahaman konsep sains, kemampuan matematika, dan keterampilan rekayasa secara simultan.

Dari perspektif global, berbagai negara telah merespons urgensi ini dengan merevisi kurikulum nasional mereka. Amerika Serikat melalui framework CSTA (Computer Science Teachers Association) telah menjadikan CT sebagai standar kompetensi wajib sejak 2017. Finlandia mengintegrasikan programming dan CT dalam kurikulum nasional sejak 2016. Australia mengadopsi Digital Technologies Curriculum yang secara eksplisit mencakup elemen CT sejak 2015. Sementara itu, di Asia Tenggara termasuk Indonesia, implementasi CT dalam kurikulum formal masih berada dalam fase transisi yang membutuhkan landasan penelitian yang lebih kokoh.

Secara spesifik, konteks pendidikan vokasi (Technical and Vocational Education and Training/TVET) menghadapi tantangan yang unik dan berbeda dari pendidikan umum. Pendidikan vokasi dirancang untuk menghasilkan tenaga kerja terampil yang siap memasuki industri secara langsung, sehingga relevansi dan kontekstualisasi kompetensi CT dengan kebutuhan dunia kerja menjadi sangat krusial. Ironisnya, kajian sistematis tentang bagaimana CT diintegrasikan dalam kurikulum pendidikan vokasi, serta bagaimana kompetensi tersebut diases secara valid dan reliabel, masih sangat langka dalam literatur internasional.

Kesenjangan ini menjadi motivasi utama penelitian ini. Dengan menggunakan pendekatan bibliometrik sebuah metode analisis kuantitatif terhadap literatur ilmiah yang memanfaatkan data sitasi, ko-sitasi, dan ko-okurensi kata kunci penelitian ini berupaya memetakan secara komprehensif lanskap penelitian global tentang CT dalam pendidikan STEM, dengan penekanan khusus pada dimensi integrasi kurikulum dan asesmen. Pemetaan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jernih tentang di mana penelitian telah berkembang, di mana celah masih terbuka lebar, dan ke mana arah penelitian masa depan sebaiknya diorientasikan.

Tinjauan terhadap literatur yang ada mengungkapkan sejumlah kesenjangan penelitian yang signifikan. Pertama, dari 107 artikel yang dianalisis dalam dataset ini, tidak satu pun secara eksplisit menempatkan TVET atau pendidikan vokasi sebagai konteks utama penelitian. Hampir seluruh studi terfokus pada jenjang pendidikan dasar, menengah, atau perguruan tinggi umum. Ini merupakan kesenjangan konseptual yang serius mengingat sebagian besar tenaga kerja industri justru berasal dari jalur pendidikan vokasi.

Kedua, dari sisi metodologi asesmen, hanya sebagian kecil penelitian yang mengembangkan instrumen asesmen CT yang tervalidasi secara psikometrik. Mayoritas studi menggunakan pendekatan asesmen ad hoc atau mengadopsi instrumen yang tidak dirancang khusus untuk konteks STEM. Hal ini menimbulkan pertanyaan serius tentang validitas konstruk dan transferabilitas temuan antar konteks.

Ketiga, meskipun tema integrasi kurikulum sering disebutkan dalam abstrak dan kata kunci, analisis mendalam terhadap mekanisme dan model integrasi yang spesifik masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian berhenti pada level deskripsi implementasi tanpa memberikan framework yang dapat direplikasi dalam konteks kurikulum yang berbeda.

Keempat, perspektif kolaborasi lintas negara dalam pengembangan CT-STEM untuk pendidikan vokasi hampir tidak terlihat. Sementara penelitian CT di pendidikan umum telah menunjukkan jaringan kolaborasi internasional yang kuat, komunitas peneliti TVET belum memiliki momentum kolaborasi global yang setara.

Urgensi penelitian ini dapat dilihat dari setidaknya tiga dimensi yang saling berkaitan. Dari dimensi kebijakan, Indonesia sedang dalam proses implementasi Kurikulum Merdeka yang secara eksplisit mendorong pengembangan keterampilan abad ke-21, termasuk CT. Namun, tanpa peta jalan penelitian yang berbasis bukti, implementasi kurikulum tersebut berisiko berjalan tanpa arah yang jelas, khususnya untuk jenjang SMK (Sekolah Menengah Kejuruan) yang menampung jutaan peserta didik.

Dari dimensi akademik, pertumbuhan publikasi CT-STEM yang eksponensial dari hanya 1 artikel pada 2016 menjadi 24 artikel pada 2025 berdasarkan dataset ini menunjukkan bahwa bidang ini sedang dalam fase kematangan (maturity phase) yang membutuhkan sintesis komprehensif. Tanpa analisis bibliometrik yang sistematis, risiko redundansi penelitian dan fragmentasi pengetahuan akan semakin besar.

Dari dimensi praktis, industri 4.0 dan 5.0 menuntut tenaga kerja vokasi yang tidak hanya terampil secara teknis, tetapi juga mampu berpikir komputasional dalam menyelesaikan masalah-masalah kompleks dunia nyata. Penelitian ini hadir sebagai jembatan antara temuan akademik global dan kebutuhan praktis

pendidikan vokasi, khususnya dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia yang masih memiliki kesenjangan signifikan antara kompetensi lulusan dan tuntutan industri.

Penelitian ini menawarkan tiga kontribusi orisinal yang membedakannya dari kajian bibliometrik sebelumnya. Pertama, secara tematik penelitian ini adalah yang pertama mengintegrasikan perspektif TVET secara eksplisit dalam analisis bibliometrik CT-STEM, sehingga menghasilkan peta kesenjangan penelitian yang belum pernah dipetakan sebelumnya. Kedua, secara metodologis penelitian ini menggabungkan analisis bibliometrik berbasis Scopus dengan visualisasi VOSviewer untuk menghasilkan interpretasi yang lebih kaya dan multidimensional dibanding kajian bibliometrik tunggal yang hanya mengandalkan salah satu pendekatan. Ketiga, secara praktis penelitian ini menghasilkan kerangka konseptual orisinal yang menghubungkan CT, STEM, kurikulum vokasi, dan asesmen dalam satu model integrasi yang dapat menjadi acuan pengembangan kurikulum maupun agenda penelitian masa depan.

Metode

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik kuantitatif yang bertujuan menganalisis pola, tren, dan struktur pengetahuan dalam literatur ilmiah tentang CT dalam pendidikan STEM. Bibliometrik dipilih karena kemampuannya untuk mengungkap lanskap penelitian secara objektif dan terukur berdasarkan data publikasi nyata, serta mampu mengidentifikasi hubungan intelektual antar konsep, penulis, dan institusi yang tidak terlihat melalui tinjauan literatur naratif biasa.

Sumber Data dan Strategi Pencarian

Data primer penelitian ini bersumber dari Scopus, basis data literatur ilmiah internasional yang diakui sebagai salah satu yang paling komprehensif dan berkualitas tinggi. Pencarian dilakukan pada tanggal 31 Mei 2026 pukul 13.18 WIB menggunakan Boolean search string berikut:

```
TITLE-ABS-KEY(("computational thinking") AND (STEM OR "STEM education") AND (curriculum OR assessment))
```

Query ini dirancang untuk menangkap seluruh penelitian yang secara eksplisit menghubungkan ketiga konstruk utama: (1) berpikir komputasional, (2) pendidikan STEM, dan (3) integrasi kurikulum atau asesmen. Pemilihan operator AND memastikan bahwa hanya artikel yang memuat ketiga elemen tersebut secara simultan yang masuk dalam dataset, sehingga relevansi dokumen terjamin.

Proses Seleksi Dokumen

Proses seleksi dokumen dilakukan secara bertahap dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Dari 507 dokumen awal yang ditemukan melalui query di atas, dilakukan penyaringan sebagai berikut: (1) pembatasan rentang waktu 2016–2026 menghasilkan 474 artikel; (2) seleksi berdasarkan jenis dokumen artikel menghasilkan 187 artikel; (3) seleksi berdasarkan tipe sumber jurnal menghasilkan 186 artikel; (4) seleksi berdasarkan tahap publikasi final menghasilkan 179 artikel; dan (5) seleksi berdasarkan akses terbuka (open access) menghasilkan 107 artikel yang menjadi dataset final penelitian ini.

Pembatasan pada dokumen open access dilakukan untuk memastikan aksesibilitas penuh terhadap konten artikel dalam proses analisis mendalam, sekaligus mempertimbangkan prinsip sains terbuka (open science) yang semakin diadopsi secara global. Dataset final terdiri dari 107 artikel yang seluruhnya merupakan artikel ilmiah peer-reviewed dari jurnal internasional terindeks Scopus.

Alat Analisis

Analisis bibliometrik dilakukan menggunakan dua alat utama: (1) fitur analisis bawaan Scopus untuk statistik deskriptif dasar seperti distribusi tahun, negara, afiliasi, dan jenis dokumen; dan (2) VOSviewer versi 1.6.20 untuk analisis jaringan ko-okurensi kata kunci, visualisasi overlay temporal, dan peta densitas. VOSviewer dipilih karena kemampuannya menghasilkan visualisasi yang intuitif dan analitik sekaligus, sehingga memungkinkan interpretasi multidimensional terhadap struktur pengetahuan dalam literatur.

Hasil dan Pembahasan

Ringkasan Dataset dan Validasi Data

Dataset final penelitian ini terdiri dari 107 artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam rentang 2016 hingga Mei 2026. Seluruh dokumen merupakan artikel penelitian (100%) yang bersumber dari jurnal internasional

terindeks Scopus dengan tahap publikasi final dan berstatus open access. Total sitasi kumulatif dataset mencapai 1.793 sitasi, dengan rata-rata 16,8 sitasi per artikel. Rentang sitasi bervariasi sangat lebar, dari 0 sitasi (artikel terbaru 2026) hingga 282 sitasi (English, 2017), mencerminkan perbedaan usia publikasi yang signifikan dalam dataset.

Validasi data dilakukan dengan membandingkan seluruh sumber data: file CSV Scopus, screenshot analisis Scopus, narasi metode pengambilan data, dan visualisasi VOSviewer. Terdapat satu catatan inkonsistensi minor: narasi metode menyebut rentang tahun 2016–2026 (dituliskan sebagai '2016-206' yang merupakan typo dari 2026), sementara data Scopus mengonfirmasi rentang yang benar adalah 2016–2026. Screenshot Scopus mengonfirmasi jumlah akhir 107 dokumen setelah seluruh filter diterapkan, konsisten dengan jumlah baris dalam file CSV. Dengan demikian, semua sumber data dinyatakan konsisten dan valid.

Analisis Tren Publikasi

Analisis tren publikasi tahunan mengungkapkan pola pertumbuhan yang menarik dan dapat dibagi menjadi empat fase perkembangan yang berbeda. Fase Embrionik (2016–2019): Pada periode ini, publikasi masih sangat terbatas dengan total hanya 9 artikel dalam empat tahun. Ini mencerminkan fase awal terbentuknya wacana ilmiah tentang CT dalam konteks STEM. Karya-karya fundamental yang muncul pada fase ini, seperti Basu et al. (2016) dan English (2017), menjadi landasan konseptual bagi seluruh penelitian berikutnya.

Fase Akselerasi Pertama (2020–2021): Meskipun pandemi COVID-19 sempat memperlambat laju publikasi pada 2020, tahun 2021 mencatatkan lonjakan dramatis ke 10 artikel peningkatan lebih dari 200% dibanding tahun sebelumnya. Ini sejalan dengan fenomena global di mana pandemi justru mempercepat adopsi teknologi digital dalam pendidikan, mendorong penelitian tentang CT-STEM ke tingkat urgensi yang lebih tinggi.

Fase Akselerasi Kedua (2022–2025): Tahun 2022 menjadi titik infleksi dengan 18 publikasi, dan tren ini berlanjut dengan 10 artikel pada 2023, 19 artikel pada 2024, dan mencapai puncak 24 artikel pada 2025. Pertumbuhan ini mencerminkan bahwa CT-STEM telah bergeser dari topik riset niche menjadi agenda penelitian mainstream yang mendapat perhatian global.

Fase Kontinu (2026): Dengan 14 artikel hanya dalam lima bulan pertama 2026, dapat diproyeksikan bahwa tahun 2026 berpotensi mencatat lebih dari 30 artikel, menandakan bahwa momentum penelitian ini belum menunjukkan tanda-tanda perlambatan.

Tabel 1. Tren Publikasi Tahunan CT-STEM (2016–2026)

Tahun	Jumlah Artikel	Kumulatif	Pertumbuhan (%)	Keterangan
2016	1	1	-	Fase embrionik: artikel pertama dalam dataset
2017	3	4	+200%	Mulai bermunculan kajian awal CT-STEM
2018	1	5	-67%	Perlambatan sementara sebelum akselerasi
2019	4	9	+300%	Fase pertumbuhan: peningkatan minat penelitian
2020	3	12	-25%	Dampak pandemi COVID-19 pada produktivitas riset
2021	10	22	+233%	Pemulihan pasca pandemi; lonjakan signifikan
2022	18	40	+80%	Fase akselerasi: CT-STEM menjadi mainstream riset
2023	10	50	-44%	Konsolidasi dan pendalaman tema penelitian

Tahun	Jumlah Artikel	Kumulatif	Pertumbuhan (%)	Keterangan
2024	19	69	+90%	Reakselerasi; minat global semakin meningkat
2025	24	93	+26%	Puncak pertumbuhan; CT-STEM menjadi agenda global
2026*	14	107	Ongoing	Data parsial hingga Mei 2026; tren positif berlanjut

Analisis Distribusi Jurnal

Pola distribusi jurnal dalam dataset mencerminkan multidisiplinaritas topik CT-STEM. Education Sciences (MDPI) dan Sustainability (Switzerland) mendominasi sebagai jurnal dengan kontribusi terbanyak (masing-masing 8 dan 7 artikel), yang menunjukkan bahwa penelitian CT-STEM memiliki dimensi keberlanjutan dan kebijakan pendidikan yang kuat. Jurnal-jurnal dari kelompok Frontiers (Frontiers in Psychology dan Frontiers in Education) berkontribusi 11 artikel gabungan, menegaskan relevansi CT-STEM dengan aspek psikologi kognitif dan inovasi pendidikan.

Tabel 2. Distribusi Jurnal Dominan

Nama Jurnal	Jumlah Artikel	Persentase (%)	Penerbit
Education Sciences	8	7,48%	MDPI
Sustainability (Switzerland)	7	6,54%	MDPI
Frontiers in Psychology	6	5,61%	Frontiers Media
Frontiers in Education	5	4,67%	Frontiers Media
International Journal of STEM Education	3	2,80%	Springer
Computer Applications in Engineering Education	3	2,80%	Wiley
ZDM - Mathematics Education	2	1,87%	Springer
Informatics in Education	2	1,87%	Vilnius University
International Journal of Educational Technology in Higher Education	2	1,87%	Springer
Research and Practice in Technology Enhanced Learning	2	1,87%	Springer

Analisis Penulis dan Institusi Dominan

Tiga penulis paling produktif dalam dataset Lavicza (3 artikel), Kanaki (3 artikel), dan Kalogiannakis (3 artikel) mencerminkan dominasi peneliti dari konteks Eropa, khususnya Austria dan Yunani. Menariknya, Lavicza dari Johannes Kepler University Linz, Austria, merupakan peneliti yang artikelnya paling banyak tersitasi, menunjukkan tidak hanya produktivitas kuantitatif tetapi juga pengaruh kualitatif yang signifikan dalam bidang ini.

Tabel 3. Penulis Dominan dalam Dataset

Nama Penulis	Institusi	Negara	Artikel	Total Sitasi
Lavicza, Z.	Johannes Kepler University	Austria	3	~110
Kanaki, K.	University of Crete	Yunani	3	~45
Kalogiannakis, M.	University of Crete	Yunani	3	~45
Araya, R.	Universidad de Chile	Chile	2	~30
Boya-Lara, C.	Universidad del Valle	Kolombia	2	~15
Stein, G.	Vanderbilt University	AS	2	~25
Lédeczi, Á.	Vanderbilt University	AS	2	~25
Bounou, A.	Université Mohammed V	Maroko	2	~10
Lavidas, K.	University of Patras	Yunani	2	~12
Jean, D.	TERC	AS	2	~20

Analisis Distribusi Negara

Amerika Serikat mendominasi kontribusi penelitian dengan 26 artikel (24,3%), mencerminkan kapasitas riset dan sumber daya pendidikan yang besar. Yang menarik adalah posisi Indonesia di urutan kedua bersama Yunani dan Spanyol dengan masing-masing 9 artikel (8,4%). Ini merupakan temuan yang signifikan karena menunjukkan bahwa peneliti Indonesia telah aktif berkontribusi dalam wacana CT-STEM internasional, meskipun sebagian besar penelitian masih dilakukan dalam konteks pendidikan umum, bukan vokasi.

Tabel 4. Distribusi Negara Dominan

Negara	Jumlah Artikel	Persen (%)	Institusi Dominan
Amerika Serikat	26	24,3%	Vanderbilt University, TERC, Boise State University, SRI International
Indonesia	9	8,4%	Universitas Negeri Padang, UIN Raden Intan Lampung, UPI
Yunani	9	8,4%	University of Crete, University of Patras
Spanyol	9	8,4%	Universidad de Cantabria, Universidad de Santiago de Compostela
China	6	5,6%	East China Normal University, Beijing Normal University
Italia	5	4,7%	Università degli Studi di Padova, Università di Genova
Taiwan	5	4,7%	National Taiwan Normal University, National Chengchi University
Kanada	4	3,7%	University of Toronto, University of Western Ontario
Chile	4	3,7%	Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile
Malaysia	4	3,7%	Universiti Kebangsaan Malaysia, Universiti Teknologi Malaysia

Analisis Artikel Paling Berpengaruh

Artikel dengan sitasi tertinggi dalam dataset adalah karya English (2017) berjudul 'Advancing Elementary and Middle School STEM Education' dengan 282 sitasi. Artikel ini berpengaruh karena menetapkan kerangka konseptual awal tentang bagaimana CT dapat memperkuat pembelajaran STEM interdisipliner di jenjang SD-SMP. Posisi kedua ditempati oleh Manches dan Plowman (2017) dengan 142 sitasi, yang mengangkat isu tentang pendidikan komputasi sejak usia dini dan pentingnya debat akademik yang lebih intensif di level kebijakan.

Tabel 5. Artikel Paling Banyak Disitasi

Penulis	Tahun	Judul Artikel	Jurnal	Sitasi	Fokus Penelitian
English, L.D.	2017	Advancing Elementary and Middle School STEM Education	International Journal of Science and Mathematics Education	282	CT & STEM interdisipliner
Manches & Plowman	2017	Computing education in children's early years: A call for debate	British Journal of Educational Technology	142	CT usia dini
Basu et al.	2016	Identifying middle school students' challenges in CT-based science	Journal of Science Education and Technology	134	Tantangan CT-STEM
Waterman et al.	2020	Integrating CT into Elementary Science Curriculum	Journal of Science Education and Technology	110	CT-IPA SD
Arfé et al.	2019	Coding in Primary Grades Boosts Children's Executive Functions	British Journal of Educational Technology	69	Coding & fungsi eksekutif
Bell & Bell	2018	Integrating computational thinking with a music education context	British Journal of Educational Technology	62	CT-Musik
Sun et al.	2021	Comparing learners' knowledge, behaviors, and attitudes	Computers & Education	60	CT inquiry vs tradisional
Goos et al.	2023	Mathematics and interdisciplinary STEM education	ZDM - Mathematics Education	58	Matematika STEM
Psycharis & Kotzampasaki	2019	The impact of a STEM inquiry game learning scenario on CT	Eurasia Journal	41	Game inquiry CT
Yang et al.	2021	Infusing Computational Thinking in an Integrated STEM Curriculum	Computers & Education	35	Infusi CT dalam STEM

Analisis Kata Kunci Dominan

Analisis frekuensi kata kunci mengungkapkan struktur tematik yang jelas dalam dataset. 'Computational thinking' muncul sebagai kata kunci dominan dengan 66 kemunculan, jauh di atas 'STEM' (26) dan 'STEM

education' (15). Ini mengkonfirmasi bahwa CT bukan sekadar topik pelengkap, melainkan konstruk inti yang menjadi fokus utama seluruh penelitian dalam dataset.

Tabel 6. Kata Kunci Dominan

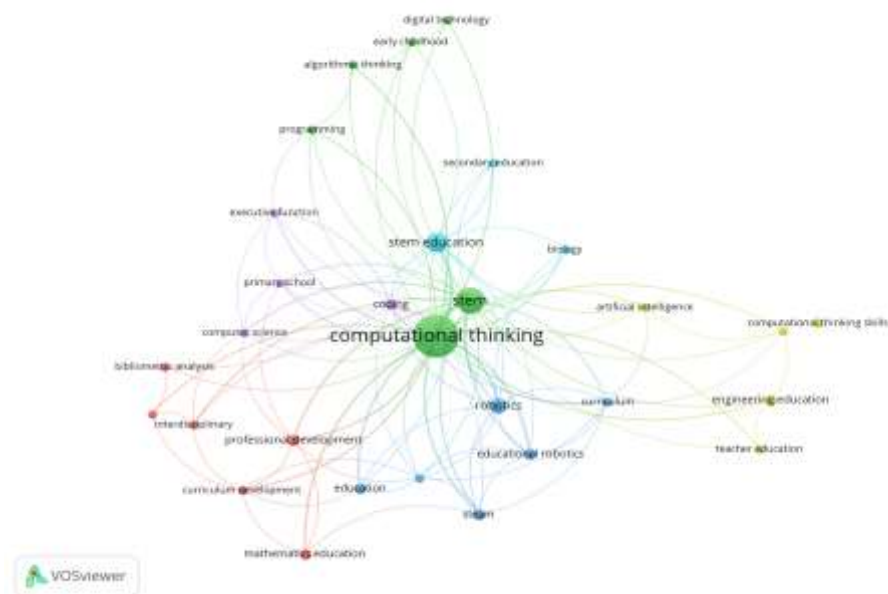
Kata Kunci	Frekuensi	Peran dalam Penelitian
Computational thinking	66	Kata kunci inti; topik utama seluruh penelitian dalam dataset
STEM	26	Konteks disiplin utama tempat CT diintegrasikan
STEM education	15	Spesifikasi konteks pendidikan STEM secara formal
Robotics	9	Media pembelajaran dan implementasi CT paling populer
STEAM	5	Perluasan STEM dengan unsur seni (Arts) dalam pembelajaran
Professional development	5	Pengembangan kompetensi guru dalam mengintegrasikan CT
Educational robotics	5	Robotika sebagai wahana pembelajaran CT di sekolah
Coding	5	Aktivitas pemrograman dasar sebagai implementasi CT
Mathematics education	4	Integrasi CT dalam pembelajaran matematika STEM
Engineering education	4	CT dalam konteks pendidikan teknik dan rekayasa
Secondary education	3	Jenjang SMP/SMA sebagai target implementasi CT-STEM
Problem solving	3	Pemecahan masalah sebagai kompetensi inti CT
Curriculum development	3	Pengembangan kurikulum yang memuat CT
Digital technology	3	Teknologi digital sebagai enabler pembelajaran CT
Early childhood	3	Pengembangan CT sejak usia dini

Analisis Visualisasi VOSviewer

Gambar 1 menampilkan visualisasi jaringan ko-okurensi kata kunci yang dihasilkan dari 107 artikel dalam dataset. Analisis network ini mengidentifikasi empat cluster utama yang mencerminkan sub-tema dominan dalam penelitian CT-STEM.

Cluster Hijau (CT-STEM Inti): Dipusat oleh node terbesar 'computational thinking' yang terhubung kuat dengan 'stem', 'stem education', dan 'coding'. Cluster ini merepresentasikan inti dari bidang penelitian ini yakni hubungan langsung antara CT dan konteks STEM. Ukuran node 'computational thinking' yang jauh lebih besar dari node lainnya mengkonfirmasi perannya sebagai anchor konseptual yang menjadi titik gravitasi seluruh jaringan pengetahuan.

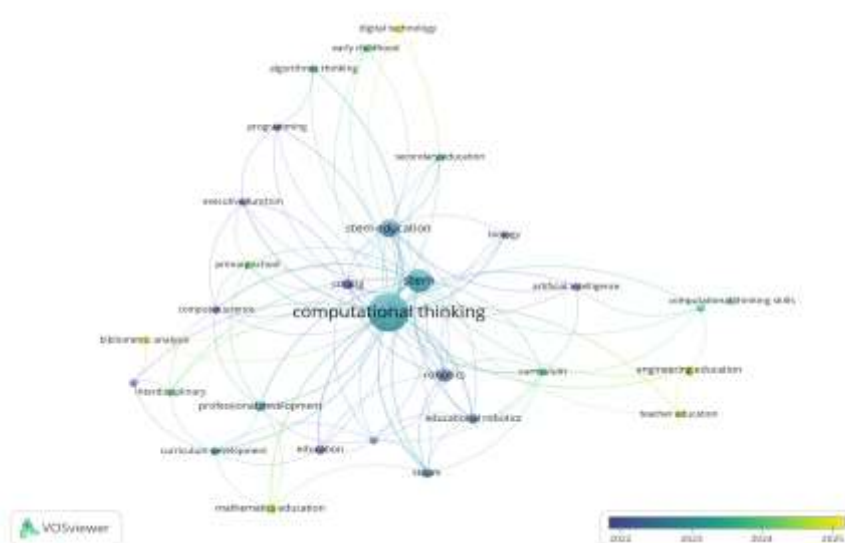
Cluster Biru (Robotika dan Teknologi Pendidikan): Mencakup kata kunci 'robotics', 'educational robotics', 'steam', dan 'education'. Cluster ini menunjukkan bahwa robotika pendidikan merupakan media implementasi CT yang paling populer dalam konteks STEM, sekaligus merefleksikan tren global penggunaan teknologi fisik dalam pembelajaran komputasional.



Gambar 1. Network Visualization Co-occurrence Kata Kunci (VOSviewer). Sumber: Hasil analisis VOSviewer dari dataset Scopus, 2025

Cluster Merah (Pengembangan Profesional dan Kurikulum): Mengelompokkan 'professional development', 'curriculum development', 'interdisciplinary', dan 'bibliometric analysis'. Cluster ini mengindikasikan bahwa peneliti semakin menyadari pentingnya pengembangan kapasitas guru dan reformasi kurikulum sebagai prasyarat keberhasilan integrasi CT-STEM. Kehadiran 'bibliometric analysis' dalam cluster ini juga menunjukkan bahwa penelitian meta-analitik sedang tumbuh dalam bidang ini.

Cluster Kuning (Asesmen dan Pendidikan Teknik): Mencakup 'engineering education', 'teacher education', 'computational thinking skills', dan 'curriculum'. Cluster ini secara langsung relevan dengan fokus penelitian ini asesmen CT dalam konteks pendidikan teknik namun ukuran nodenya yang relatif kecil justru mengkonfirmasi bahwa ini adalah area yang masih under-researched dan merupakan gap utama yang perlu diisi.



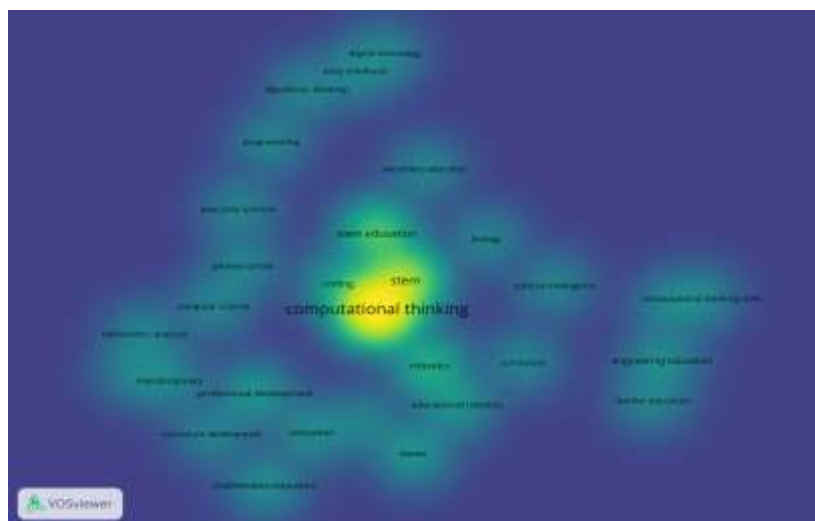
Gambar 2. Overlay Visualization Temporal Perkembangan Tema CT-STEM (VOSviewer). Sumber: Hasil analisis VOSviewer dari dataset Scopus, 2026

Gambar 2 menampilkan overlay visualization yang menggunakan gradasi warna untuk menunjukkan evolusi temporal kata kunci: warna biru gelap merepresentasikan tema lama (2022), hijau muda menunjukkan tema berkembang (2023–2024), dan kuning terang mengindikasikan tema paling mutakhir (2024–2025).

Tema Lama (2022 ke bawah, warna biru-gelap): Node 'computational thinking', 'stem', 'bibliometric analysis', dan 'interdisciplinary' menampilkan warna biru yang menunjukkan bahwa tema-tema ini sudah mapan sejak awal periode analisis. Ini adalah fondasi penelitian yang tidak boleh diabaikan meskipun tidak lagi dianggap sebagai novelty.

Tema Berkembang (2023–2024, warna biru-hijau): Kata kunci seperti 'robotics', 'educational robotics', 'professional development', dan 'secondary education' berada di zona transisi warna, menandakan bahwa tema-tema ini sedang dalam fase pertumbuhan aktif dan masih memiliki potensi eksplorasi yang signifikan.

Tema Mutakhir (2025, warna kuning-terang): Secara signifikan, 'digital technology', 'early childhood', 'engineering education', 'teacher education', dan 'computational thinking skills' tampil dalam gradasi kuning paling terang, menunjukkan bahwa penelitian yang paling kontemporer berfokus pada dimensi asesmen keterampilan CT spesifik, pendidikan teknik, dan penerapan teknologi digital. Temuan ini mengisyaratkan arah utama penelitian CT-STEM dalam beberapa tahun ke depan.



Gambar 3. Density Visualization Konsentrasi Tema CT-STEM (VOSviewer). Sumber: Hasil analisis VOSviewer dari dataset Scopus, 2026

Gambar 3 menyajikan density map yang menggambarkan konsentrasi atau 'kepadatan' penelitian pada berbagai area tematik. Zona kuning-hijau terang di pusat peta menandakan area dengan konsentrasi penelitian tertinggi, sementara zona biru gelap di pinggiran menunjukkan area yang relatif belum banyak dieksplorasi.

Titik densitas tertinggi secara konsisten berada pada kluster 'computational thinking' dan 'stem' mengkonfirmasi bahwa inti penelitian memang sangat terpusat di dua konstruk ini. Yang menarik adalah 'stem education' juga membentuk zona densitas tinggi tersendiri, menunjukkan bahwa ada badan penelitian yang cukup besar yang secara spesifik membahas CT dalam konteks pendidikan STEM formal (bukan sekadar STEM sebagai konsep umum).

Sebaliknya, area tematik seperti 'engineering education', 'teacher education', 'curriculum', dan 'computational thinking skills' berada di zona densitas rendah (biru). Ini adalah konfirmasi visual yang kuat bahwa area-area tersebut yang justru sangat relevan dengan konteks pendidikan vokasi masih belum mendapat perhatian yang proporsional dari komunitas peneliti global. Temuan ini secara langsung mendukung argumen tentang kesenjangan penelitian TVET-CT yang menjadi fokus utama kajian ini.

Sintesis Literatur dan Analisis Komparatif

Sintesis terhadap 15 artikel representatif dalam Tabel 1 mengungkapkan beberapa temuan konvergen yang penting. Pertama, pendekatan inquiry-based dan project-based learning secara konsisten terbukti lebih efektif dalam mengembangkan CT dibanding pendekatan instruksi langsung. Kedua, integrasi CT-STEM

memberikan manfaat ganda: meningkatkan pemahaman konsep STEM sekaligus mengembangkan keterampilan komputasional. Ketiga, peran guru sebagai fasilitator yang kompeten dan terlatih merupakan variabel penentu keberhasilan yang paling konsisten ditemukan lintas studi.

Tabel 1. Sintesis Literatur Penelitian CT-STEM

Penulis	Tahun	Negara	Metode	Sampel	Temuan Utama
English, L.D.	2017	Australia/AS	Quasi-eksperimen	SD-SMP	CT & STEM meningkatkan pemecahan masalah interdisipliner pada siswa SD-SMP
Manches & Plowman	2017	Inggris	Kajian Konseptual	Pra-sekolah	Pendidikan komputasi perlu debat mendalam sejak usia dini; peran guru krusial
Basu et al.	2016	Amerika Serikat	Mixed Methods	SMP Kelas 7	Tantangan utama CT di STEM: abstraksi dan dekomposisi masalah kompleks
Waterman et al.	2020	Amerika Serikat	Studi Kasus	Guru SD	Integrasi CT di IPA SD meningkatkan pemahaman konsep sains secara signifikan
Arfé et al.	2019	Italia	Eksperimen	Kelas 3–5 SD	Coding di sekolah dasar meningkatkan fungsi eksekutif dan kemampuan berpikir
Bell & Bell	2018	Selandia Baru	Deskriptif	SMP	CT dapat diintegrasikan secara efektif dalam konteks pendidikan musik STEM
Sun et al.	2021	Cina	Eksperimen	Mahasiswa	Pembelajaran berbasis inquiry meningkatkan CT dan pemahaman konsep secara lebih baik
Goos et al.	2023	Multi-negara	Tinjauan Sistematis	Berbagai jenjang	Matematika interdisipliner dalam STEM memperkuat CT dan literasi abad ke-21
Psycharis & Kotzampasaki	2019	Yunani	Quasi-eksperimen	Siswa SMP	Game inquiry berbasis STEM meningkatkan CT dan kepercayaan diri terhadap komputer

Penulis	Tahun	Negara	Metode	Sampel	Temuan Utama
Yang et al.	2021	Amerika Serikat	Desain & Uji Coba	Guru & Siswa	Infusi CT dalam STEM mendapat respons positif namun butuh pelatihan guru intensif
Kanaki & Kalogiannakis	2022	Yunani	Studi Pengembangan	Pra-sekolah	CT dapat diperkenalkan sejak pra-sekolah melalui aktivitas tidak terprogram
Suherman et al.	2025	Indonesia/Hungaria	SEM	77 siswa SMP	STEM meningkatkan CT dan kreativitas; sikap STEM memoderasi hubungan tersebut
Ortiz-Laso et al.	2023	Spanyol/Austria	Studi Kasus	2 Guru SMA	Guru perlu pendampingan sustain untuk mengintegrasikan CT dalam proyek STEAM
Lavicza et al.	2022	Austria/Multi	Mixed Methods	Guru & Siswa	Pendekatan teknologi berbasis STEM mendukung CT lintas disiplin ilmu
Boya-Lara et al.	2023	Kolombia	Eksperimen	Mahasiswa T.I.	Robotika pendidikan dalam kurikulum STEM secara efektif meningkatkan CT mahasiswa

Tabel 2. Analisis Komparatif Temuan Penelitian CT-STEM

Variabel	Temuan Utama	Kelebihan Penelitian	Keterbatasan	Implikasi Praktis
Integrasi CT-STEM	CT meningkat signifikan bila terintegrasi dalam STEM	Bukti empiris kuat dari berbagai negara	Generalisasi terbatas pada konteks tertentu	Rancang kurikulum STEM yang memuat unsur CT secara sistematis
Pendekatan Pembelajaran	Inquiry dan project-based learning lebih efektif dari tradisional	Mendukung pembelajaran aktif dan kolaboratif	Kebanyakan studi berskala kecil dan jangka pendek	Sekolah adopsi PBL dan inquiry dalam pembelajaran STEM
Jenjang Pendidikan	CT relevan dari pra-sekolah hingga perguruan tinggi	Cakupan luas memberikan gambaran menyeluruh	Pendekatan tiap jenjang sangat berbeda	Kembangkan framework CT spesifik tiap jenjang pendidikan

Variabel	Temuan Utama	Kelebihan Penelitian	Keterbatasan	Implikasi Praktis
Asesmen CT	Asesmen autentik lebih valid dibanding tes konvensional	Inovasi dalam evaluasi kemampuan CT	Belum ada standar asesmen CT yang universal	Kembangkan instrumen asesmen CT yang terstandarisasi
Peran Guru	Kapasitas guru menentukan kualitas integrasi CT-STEM	Mengidentifikasi variabel penentu keberhasilan	Data pelatihan guru masih terbatas	Investasi berkelanjutan dalam pelatihan guru STEM dan CT
Konteks Vokasi	Penelitian CT di TVET sangat minim (gap utama)	Membuka ruang penelitian baru yang kritis	Sangat sedikit studi yang secara eksplisit mengangkat TVET	Prioritaskan penelitian CT-STEM untuk pendidikan vokasi

Analisis komparatif pada Tabel 2 memperkuat temuan tersebut sekaligus mengidentifikasi area-area di mana ketidaksepakatan atau inkonsistensi masih terjadi, terutama terkait standar asesmen CT dan model integrasi kurikulum yang optimal untuk berbagai konteks pendidikan.

Kerangka Konseptual

Berdasarkan seluruh temuan bibliometrik, analisis cluster, dan sintesis literatur, penelitian ini mengusulkan Kerangka Integratif CT-STEM untuk Pendidikan Vokasi yang menggambarkan hubungan sistemik antara enam dimensi kunci: (1) Computational Thinking sebagai kompetensi inti; (2) STEM Education sebagai konteks disiplin; (3) Vocational Curriculum sebagai platform implementasi; (4) Authentic Assessment sebagai mekanisme validasi; (5) Professional Development sebagai infrastruktur pendukung; dan (6) Industry Readiness sebagai output akhir yang diharapkan.

Dalam kerangka ini, CT bukan dipandang sebagai mata pelajaran tersendiri, melainkan sebagai thread yang merajut seluruh dimensi pembelajaran STEM dalam konteks vokasi. Implementasi CT yang efektif memerlukan: (a) redesain kurikulum yang mengintegrasikan elemen dekomposisi, abstraksi, dan algoritmik dalam konten vokasi; (b) pengembangan instrumen asesmen autentik yang mengukur CT dalam konteks pekerjaan nyata; dan (c) program pengembangan profesional guru vokasi yang berkelanjutan dan kontekstual.

Simpulan

Penelitian bibliometrik ini berhasil memetakan lanskap global penelitian CT dalam pendidikan STEM menggunakan dataset 107 artikel Scopus periode 2016–2026. Temuan utama yang dapat ditarik dari analisis ini mencakup empat dimensi penting. Dari dimensi pertumbuhan, tren publikasi menunjukkan akselerasi yang nyata sejak 2021 dan mencapai puncak pada 2025 dengan 24 artikel per tahun. Proyeksi untuk 2026 menunjukkan momentum yang belum mereda, mengindikasikan bahwa CT-STEM masih akan menjadi agenda penelitian yang sangat aktif dalam beberapa tahun ke depan. Dari dimensi tematik, analisis VOSviewer mengidentifikasi empat cluster tema utama: CT-STEM inti (didominasi computational thinking dan STEM), robotika pendidikan, pengembangan profesional-kurikulum, dan asesmen-pendidikan teknik. Overlay visualization mengonfirmasi bahwa tema-tema paling mutakhir (2024–2025) bergerak ke arah asesmen keterampilan CT spesifik dan pendidikan teknik, yang sangat relevan dengan konteks vokasi. Dari dimensi kesenjangan, density map menunjukkan secara visual bahwa area asesmen, integrasi kurikulum vokasi, dan pendidikan teknik masih berada di zona densitas rendah mengkonfirmasi bahwa TVET-CT merupakan gap penelitian yang nyata dan urgen untuk diatasi. Amerika Serikat mendominasi kontribusi penelitian (24,3%), sementara Indonesia berada di posisi kedua bersama Yunani dan Spanyol (masing-masing 8,4%), namun penelitian Indonesia masih sangat jarang yang secara eksplisit menyasar konteks vokasi. Dari dimensi kontribusi, penelitian ini memberikan tiga sumbangan utama: (1) peta bibliometrik pertama yang secara eksplisit mengintegrasikan perspektif TVET dalam analisis CT-STEM; (2) interpretasi mendalam terhadap tiga visualisasi VOSviewer yang mengungkap struktur pengetahuan, evolusi temporal, dan konsentrasi riset; dan (3) kerangka konseptual integratif CT-STEM untuk pendidikan vokasi yang dapat

menjadi acuan pengembangan kurikulum dan agenda penelitian. Keterbatasan penelitian ini mencakup: (a) pembatasan pada dokumen open access yang dapat memengaruhi representativitas dataset; (b) penggunaan satu basis data (Scopus) saja tanpa triangulasi dengan Web of Science atau Google Scholar; dan (c) kemungkinan ada penelitian relevan yang tidak masuk dalam query Boolean karena menggunakan terminologi berbeda. Rekomendasi untuk penelitian masa depan mencakup: (a) pengembangan penelitian empiris tentang model integrasi CT dalam kurikulum SMK di Indonesia dan negara berkembang lainnya; (b) validasi instrumen asesmen CT yang kontekstual untuk lingkungan vokasi; (c) kajian kolaborasi internasional yang secara khusus menjembatani komunitas peneliti TVET dan CT-STEM; dan (d) studi longitudinal tentang dampak CT terhadap kesiapan kerja lulusan vokasi di era industri 4.0 dan 5.0.

References

- Angeli, C., Voogt, J., Fluck, A., Webb, M., Cox, M., Malyn-Smith, J., & Zagami, J. (2016). A K-6 computational thinking curriculum framework: Implications for teacher knowledge. *Journal of Educational Technology & Society*, 19(3), 47–57.
- Arfé, B., Vardanega, T., Montuori, C., & Lavanga, M. (2019). Coding in primary grades boosts children's executive functions. *Frontiers in Psychology*, 10, 2713. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02713>
- Basu, S., Biswas, G., Sengupta, P., Dickes, A., Kinnebrew, J. S., & Clark, D. (2016). Identifying middle school students' challenges in computational thinking-based science learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 11(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0036-2>
- Bell, J., & Bell, T. (2018). Integrating computational thinking with a music education context. *Informatics in Education*, 17(2), 151–166. <https://doi.org/10.15388/infedu.2018.09>
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA)*, Vancouver, Canada.
- Cheng, L., Wang, X., & Ritzhaupt, A. D. (2023). The effects of computational thinking integration in STEM on students' learning performance in K-12 education: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 61(2), 416–443. <https://doi.org/10.1177/07356331221114183>
- English, L. D. (2017). Advancing elementary and middle school STEM education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(S1), 5–24. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x>
- Goos, M., Carreira, S., & Namukasa, I. K. (2023). Mathematics and interdisciplinary STEM education: Recent developments and future directions. *ZDM – Mathematics Education*, 55(7), 1199–1217. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01533-z>
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38–43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051>
- Hsu, T. C., Chang, S. C., & Hung, Y. T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. *Computers & Education*, 126, 296–310. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.004>
- Jiang, H., Islam, A. Y. M. A., Gu, X., & Guan, J. (2024). How do thinking styles and STEM attitudes have effects on computational thinking? A structural equation modeling analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(3), 645–673. <https://doi.org/10.1002/tea.21889>
- Kanaki, K., & Kalogiannakis, M. (2022). Introducing algorithmic thinking in natural science education in early childhood through the context of inquiry-based learning. *Education Sciences*, 12(4), 271. <https://doi.org/10.3390/educsci12040271>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Lee, I., & Malyn-Smith, J. (2020). Computational thinking integration patterns along the framework defining computational thinking from a disciplinary perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 29(1), 9–18. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09803-w>
- Manches, A., & Plowman, L. (2017). Computing education in children's early years: A call for debate. *British Journal of Educational Technology*, 48(1), 191–201. <https://doi.org/10.1111/bjet.12355>
- Nouri, J., Zhang, L., Mannila, L., & Noren, E. (2020). Development of computational thinking, digital competence and 21st century skills when learning programming in K-9. *Education Inquiry*, 11(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/20004508.2019.1627844>
- Ortiz-Laso, Z., Diego-Mantecón, J.-M., Lavicza, Z., & Blanco, T. F. (2023). Teacher growth in exploiting mathematics competencies through STEAM projects. *ZDM – Mathematics Education*, 55(7), 1283–1297. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01528-w>

- Psycharis, S., & Kotzampasaki, E. (2019). The impact of a STEM inquiry game learning scenario on computational thinking and computer self-confidence. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(4), em1689. <https://doi.org/10.29333/ejmste/103071>
- Richardo, R., Dwiningrum, S. I. A., Wijaya, A., Retnawati, H., Wahyudi, A., Sholihah, D. A., & Hidayah, K. N. (2023). The impact of STEM attitudes and computational thinking on 21st-century via structural equation modelling. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 12(2), 571–578. <https://doi.org/10.11591/ijere.v12i2.23267>
- Sengupta, P., Kinnebrew, J. S., Basu, S., Biswas, G., & Clark, D. (2013). Integrating computational thinking with K-12 science education using agent-based computation: A theoretical framework. *Education and Information Technologies*, 18(2), 351–380. <https://doi.org/10.1007/s10639-012-9240-x>
- Suherman, S., Vidákovich, T., Mujib, M., Hidayatulloh, H., Andari, T., & Susanti, V. D. (2025). The role of STEM teaching in education: An empirical study to enhance creativity and computational thinking. *Journal of Intelligence*, 13(7), 88. <https://doi.org/10.3390/jintelligence13070088>
- Sun, D., Ouyang, F., Li, Y., & Zhu, C. (2021). Comparing learners' knowledge, behaviors, and attitudes between two instructional modes of computational thinking. *Computers & Education*, 164, 104120. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104120>
- Tang, X., Yin, Y., Lin, Q., Hadad, R., & Zhai, X. (2020). Assessing computational thinking: A systematic review of empirical studies. *Computers & Education*, 148, 103798. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103798>
- Waterman, K. P., Goldsmith, L., & Pasquale, M. (2020). Integrating computational thinking into elementary science curriculum: An examination of activities that support students' computational thinking in the service of disciplinary learning. *Journal of Science Education and Technology*, 29(1), 53–64. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09801-y>
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: A systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>
- Yang, D., Baek, Y., Ching, Y.-H., Swanson, S., Chittoori, B., & Wang, S. (2021). Infusing computational thinking in an integrated STEM curriculum: User reactions and lessons learned. *European Journal of STEM Education*, 6(1), 4. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/9560>
- Ye, H., Liang, B., Ng, O. L., & Chai, C. S. (2023). Integration of computational thinking in K-12 mathematics education: A systematic review on CT-based mathematics instruction and student learning. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00397-9>
- Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S., & Korb, J. T. (2014). Computational thinking in elementary and secondary teacher education. *ACM Transactions on Computing Education*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1145/2576872>
- Sirakaya, M., Sirakaya, D. A., & Korkmaz, O. (2020). The impact of STEM attitude and thinking style on computational thinking determined via structural equation modeling. *Journal of Science Education and Technology*, 29(4), 561–572. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09836-6>
- Sun, L., Hu, L., Yang, W., Zhou, D., & Wang, X. (2021). STEM learning attitude predicts computational thinking skills among primary school students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(2), 346–358. <https://doi.org/10.1111/jcal.12490>
- Tikva, C., & Tambouris, E. (2023). The effect of scaffolding programming games and attitudes towards programming on the development of computational thinking. *Education and Information Technologies*, 28(6), 6845–6867. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11440-x>
- Kwon, K., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Brush, T. A., Jeon, M., & Yan, G. (2021). Integration of problem-based learning in elementary computer science education: Effects on computational thinking and attitudes. *Educational Technology Research and Development*, 69(5), 2761–2787. <https://doi.org/10.1007/s11423-021-10034-3>
- Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: A multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00473-2>

- Wang, F., Huang, J., Zheng, X., Wu, J., & Zhao, A. (2024). STEM activities for boosting pupils' computational thinking and reducing their cognitive load: Roles of argumentation scaffolding and mental rotation. *Journal of Research on Technology in Education*. <https://doi.org/10.1080/15391523.2024.2315345>
- Galanti, T. M., & Holincheck, N. M. (2024). Integrating computational thinking in elementary using the engineering design process. *School Science and Mathematics*, 124(5), 279–286. <https://doi.org/10.1111/ssm.12654>
- Gerini, L., Martini, M., Delzanno, G., Guerrini, G., Solari, F., & Chessa, M. (2026). Immersive VR for the assessment of spatial skills in adolescents: Performance, gender effects, and links to computational thinking. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 32(5), 4471–4481. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2026.3679088>
- Erdriam, D., Darmansyah, D., & Hidayati, A. (2026). Assessing moral development and learning outcomes in STEM education: Evidence from an Indonesian informatics program. *Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications*, 12(58), 663–667. <https://doi.org/10.5935/jetia.v12i58.2839>
- Priemer, B., Eilerts, K., Filler, A., Pinkwart, N., Rosken-Winter, B., Tiemann, R., & Belzen, A. U. Z. (2020). A framework to foster problem-solving in STEM and computing education. *Research in Science & Technological Education*, 38(1), 105–130. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1600518>