



Article

Membuka Kemampuan Computational Thinking Sebagai 21 Century Skills Disiplin STEM

Aisyah Husna Alifah¹, Suprih Widodo², etc

Pendidikan Sistem dan Teknologi Informasi, Universitas Pendidikan Indonesia^{1,2}

Article Info

Article History:

Received: 2024-01-30

Revised: 2024-09-07

Accepted: 2024-09-20

Keywords:

Computational
Thinking;
21 Century Skills;
STEM.

Informasi Artikel

Kata Kunci:

Computational
Thinking;
21 Century Skills;
STEM.

Publishing Info

✉ **Corresponding Author:** (1) Aisyah Husna Alifah, (2) Program Studi Pendidikan Sistem dan Teknologi Informasi, (3) Universitas Pendidikan Indonesia, (4) Purwakarta, Indonesia, (5) Email: husnaisyah@upi.edu

ABSTRACT

Computational thinking is essential for 21st century skills, involving problem solving using computer science concepts. Present in the STEM sphere, it develops critical, creative and innovative thinking. This article explores the integration of computational thinking in STEM education to foster 21st century skills. In a systematic review, it emphasizes its crucial role in everyday life, supporting critical skills such as creative problem-solving, which is closely related to foundational skills such as effective communication and digital literacy. The development of computational thinking skills in educators is also recognized as an important aspect to ensure equitable access in STEM curricula.

ABSTRAK

Pemikiran komputasional sangat penting untuk keterampilan abad ke-21, melibatkan pemecahan masalah dengan menggunakan konsep ilmu komputer. Hadir dalam lingkup STEM, ini mengembangkan berpikir kritis, kreatif, dan inovatif. Artikel ini mengeksplorasi integrasi pemikiran komputasional dalam pendidikan STEM untuk memupuk keterampilan abad ke-21. Dalam meninjau secara sistematis, penelitian ini menekankan peran krusialnya dalam kehidupan sehari-hari, mendukung keterampilan kritis seperti pemecahan masalah kreatif, yang erat kaitannya dengan keterampilan dasar seperti komunikasi efektif dan literasi digital. Pengembangan keterampilan pemikiran komputasional pada pendidik juga diakui sebagai aspek penting untuk memastikan akses yang adil dalam kurikulum STEM.

Copyright © 2024 Aisyah Husna Alifah, Suprih Widodo(s). Published by Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia.  This is an open access article licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

PENDAHULUAN

Di era globalisasi dan revolusi digital, keterampilan abad ke-21 telah menjadi fokus utama dalam pendidikan dan pembangunan tenaga kerja. Salah satu keterampilan kunci yang mendapatkan perhatian luas adalah pemikiran komputasional (Computational Thinking - CT), yang telah diidentifikasi sebagai kompetensi penting tidak hanya dalam ilmu komputer tetapi juga dalam berbagai disiplin lainnya. Pemikiran komputasional, yang didefinisikan sebagai proses pemecahan masalah yang melibatkan ekspresi masalah dan penyelesaiannya dengan cara yang dapat dipahami dan dieksekusi oleh komputer, telah berkembang menjadi fondasi penting untuk pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics).

Dalam konteks pendidikan, CT menyediakan alat untuk pemecahan masalah yang efektif dan kreatif, menekankan pada kemampuan untuk berpikir secara logis, algoritmik, dan kreatif. CT membantu siswa tidak hanya memahami konsep dasar komputasi tetapi juga menerapkannya dalam konteks yang beragam, dari sains hingga sastra. Dengan meningkatnya integrasi teknologi dalam kehidupan sehari-hari, pemahaman yang kuat tentang CT menjadi semakin penting. Hal ini diperkuat oleh kebutuhan untuk mendidik siswa dalam cara yang relevan dengan dunia yang semakin bergantung pada teknologi.

Pendidikan STEM, yang merupakan pilar penting dalam pendidikan modern, menyediakan landasan yang sempurna untuk integrasi CT. Sebagai bidang yang berfokus pada pemahaman dan penerapan ilmu pengetahuan, teknologi, teknik, dan matematika, pendidikan STEM menguntungkan dari penggabungan CT ke dalam kurikulumnya. Keterampilan seperti pemecahan masalah, pemikiran logis, dan inovasi, yang merupakan inti dari CT, secara langsung relevan dengan disiplin STEM. Integrasi ini memungkinkan siswa untuk melihat bagaimana konsep komputasional diterapkan dalam situasi nyata, memberikan mereka alat untuk menjadi pemecah masalah yang efektif dan inovatif.

Metode Systematic Literature Review (SLR) yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan analisis mendalam terhadap cara CT diintegrasikan dalam pendidikan STEM. Dengan mengikuti pedoman yang ketat, penelitian ini mengevaluasi berbagai literatur yang tersedia untuk memahami peran CT dalam konteks pendidikan saat ini. Penelitian ini mengidentifikasi artikel yang relevan melalui pencarian sistematis di Google Scholar, mengkhhususkan pada literatur yang membahas CT dalam konteks STEM. Kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat memastikan bahwa analisis ini mencakup literatur yang paling relevan dan terbaru, memberikan pandangan yang komprehensif dan akurat tentang keadaan saat ini dalam pendidikan CT.

Salah satu aspek penting yang ditemukan dalam literatur adalah bahwa CT tidak hanya berkaitan dengan kemampuan teknis atau pemrograman; melainkan, ini adalah tentang bagaimana berpikir secara kritis dan kreatif dalam konteks teknologi. Pendidikan CT harus mencakup pengembangan keterampilan seperti berpikir logis, pemecahan masalah, dan kolaborasi. Artikel oleh Saad dan Zainudin (2022) menekankan bagaimana Project-Based Learning (PBL) dalam STEM dapat ditingkatkan dengan integrasi CT, menyediakan siswa dengan pengalaman belajar yang kaya dan kontekstual. Ini menunjukkan bahwa CT dapat diintegrasikan dalam berbagai bentuk pembelajaran, memperkuat keterampilan yang diperlukan untuk sukses dalam abad ke-21.

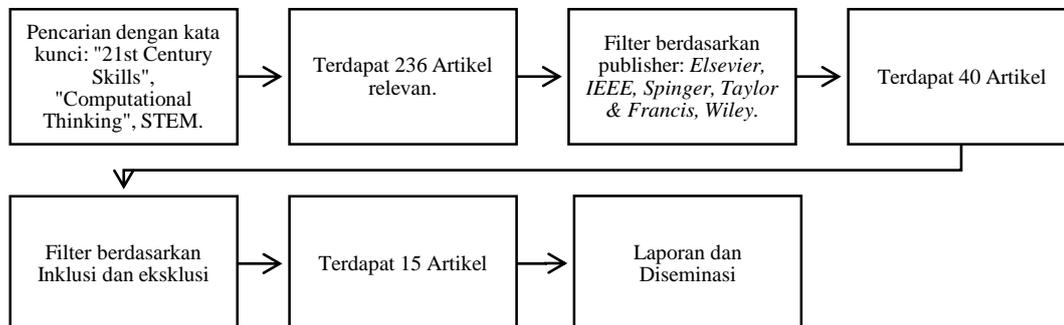
Di sisi lain, penelitian oleh Sen, Ay, dan Kiray (2021) menyoroti pentingnya mengembangkan keterampilan pemikiran komputasional di kalangan siswa berbakat dan berbakat. Mereka menemukan bahwa siswa ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam keterampilan CT saat terlibat dalam kursus Ilmu Komputer yang dirancang dengan baik, menunjukkan pentingnya pendekatan pedagogis yang disesuaikan dalam mengajar CT. Dengan meningkatnya fokus pada literasi digital dan keterampilan teknologi, pentingnya CT dalam pendidikan menjadi semakin jelas. CT bukan hanya tentang mempersiapkan siswa untuk karir di bidang teknologi; ini tentang memberi mereka keterampilan untuk berpikir secara kritis dan kreatif, terlepas dari jalur karir yang mereka pilih. Pendidikan yang efektif dalam CT dapat membantu siswa mengembangkan keterampilan yang mereka butuhkan untuk berhasil di dunia yang semakin berbasis teknologi, sambil juga mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan yang belum kita bayangkan.

Melalui SLR ini, kita dapat melihat bahwa CT bukan hanya keterampilan yang berguna tetapi juga krusial dalam membentuk landasan pendidikan yang komprehensif dan adaptif. Dengan kemajuan teknologi yang terus bergerak cepat, pemahaman mendalam tentang CT menjadi semakin penting. CT tidak hanya membantu siswa untuk beradaptasi dengan perubahan teknologi tetapi juga memberi mereka alat untuk menjadi pemikir kreatif dan inovatif, siap menghadapi tantangan masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan panduan komprehensif bagi pendidik dan pembuat kebijakan tentang bagaimana terbaik untuk mengintegrasikan CT ke dalam pendidikan STEM. Melalui analisis yang mendalam dari literatur yang ada, artikel ini berusaha untuk mengidentifikasi strategi, tantangan, dan solusi dalam mengajar CT, sekaligus menyoroti pentingnya CT dalam mendukung keterampilan abad ke-21.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR), yang mengikuti serangkaian pedoman standar untuk mengidentifikasi seluruh penelitian yang relevan dan memberikan pandangan yang komprehensif tentang topik penelitian. Pedoman tinjauan ini mencakup aspek perumusan masalah, penentuan kriteria inklusi dan eksklusi artikel, serta pemilihan database yang terkemuka untuk memastikan dan menjamin integritas dan akuntabilitas data. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari artikel yang terindeks oleh Google Scholar. Kriteria inklusi dan eksklusi untuk artikel yang akan ditinjau mencakup: (1) Tidak termasuk artikel kajian literatur; (2) Tanggal publikasi berkisar dalam 5 tahun terakhir, yakni 2019-2023; (3) Penelitian yang membahas isu-isu terkait 21st Century Skills yaitu Computational Thinking dalam lingkup STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics).

Proses pencarian data meliputi identifikasi awal sebanyak 236 artikel yang memenuhi kriteria pencarian. Berdasarkan jumlah tersebut, penyaringan dilakukan dengan memfokuskan pada penerbit internasional terkemuka, yakni Elsevier (Science Direct), IEEEExplore, Springer, Taylor & Francis, dan Wiley Online Library, sehingga menghasilkan 40 artikel yang relevan. Artikel-artikel ini kemudian disaring lebih lanjut sesuai dengan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan hasil dari penyaringan tersebut, diperoleh 15 artikel yang akan dikaji secara mendalam dalam penelitian ini.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Ilmu komputer (CS) pada umumnya dan pemrograman pada khususnya selama ini dianggap sebagai area yang relevan hanya bagi profesional teknologi informasi (TI). Namun, pandangan ini telah berubah dalam beberapa tahun terakhir. Seiring dengan laju digitalisasi yang semakin cepat, perangkat lunak dan teknologi memainkan peran yang semakin besar di hampir semua bidang masyarakat dan setiap aspek kehidupan. Hal ini menimbulkan kebutuhan untuk memahami bagaimana dunia digital bekerja, serta peluang dan risiko apa saja yang dibawanya, sama seperti kita belajar tentang dunia fisik (Nouri, Zhang, et.al, 2020). Adapun hasil tinjauan sistematis berdasarkan sumber yang telah dibaca dan dipahami lebih lanjut adalah sebagai berikut.

Table 1. Hasil Tinjauan Literatur Sistematis.

Title	Tujuan	Outcomes
[1] (Sen et al., 2021)	Mengidentifikasi keterampilan berpikir komputasi yang digunakan oleh mahasiswa berbahasa talenta dalam aktivitas STEM terintegrasi berdasarkan Proses Desain Ingenieri.	Mahasiswa secara aktif menggunakan keterampilan berpikir kritis saat memberikan penjelasan, membuat asosiasi, menandai informasi, memberikan justifikasi, memecahkan masalah, berpikir kreatif, membuat generalisasi, dan mencoba mengesuaiakan orang lain.
[2] (John Lemay et al., 2021)	Mengeksplorasi hubungan antara keterampilan berpikir komputasi (CT) dan kinerja akademik mahasiswa program studi ilmu komputer.	Adanya hubungan positif yang signifikan antara kreativitas dan kinerja akademik, serta hubungan negatif yang signifikan antara kerjasama dan kinerja akademik.
[3] (Hou et al., 2020)	Menguji kinerja pedagogi pemrograman visual dan interaktif melalui pelatihan CT, menerapkan TAM, dan menentukan kepuasan belajar mahasiswa dalam kurikulum pemrograman.	Penggunaan pedagogi pemrograman visual dan interaktif dan CT meningkatkan minat mahasiswa non-teknis dalam belajar teknologi.

- [4] Mengembangkan definisi operasional dari praktik berpikir komputasional (CT) dan menguji alat uji yang dapat menilai secara efektif praktik CT siswa. Memvalidasi struktur empat dimensi dari CT tes praktik CT. Keandalan, karakteristik butir soal, dan kemampuan praktik CT siswa.
- [5] Menyelidiki penentu dalam keterampilan kecerdasan dalam beberapa bidang, yaitu pembagian digital, pemikiran kognitif, dan keterampilan berpikir komputasi. Pemikiran komputasi merupakan penentu yang signifikan dalam keterampilan kecerdasan dalam beberapa bidang, yang mencerminkan penggunaan, pengenalan, dan penilaian teknologi berbasis kecerdasan buatan.
- [6] Menyelidiki apakah Perspektif Berpikir Komputasional (CT) dapat memperkuat Identitas Komputasional (CI) di antara siswa sekolah dasar dalam pembelajaran pemrograman dari perspektif teori pembelajaran berbasis situasi. Kemampuan untuk bertanya dapat memperkuat pembentukan Identitas Komputasional melalui kemampuan untuk berekspresi, sementara kemampuan untuk terhubung dapat secara langsung memperkuat pembentukan Identitas Komputasional.
- [7] Mengetahui pengalaman belajar STEM dengan robotics yang diberikan kepada 76 mahasiswa Foundation in Science. Penerapan mobil robotik car yang rendah biaya dengan Maker Uno dalam pendidikan dapat mendukung pengembangan keterampilan 21. keabisan dan meningkatkan minat dalam bidang STEM mahasiswa.
- [8] Mengevaluasi keterampilan dalam mengajarkan keterampilan Pemikiran Komputasi (CT) pada mahasiswa non-Computer Science (CS) melalui buku catatan komputasi yang berinteraksi. Gamifikasi buku catatan komputasi dapat digunakan sebagai alat untuk meningkatkan keterlibatan dan keterampilan pemahaman komputasi pada mahasiswa non-CS, serta membantu mereka mengembangkan keterampilan CT secara efektif
- [9] Mengembangkan kerangka konseptual STEM pada penerapan CT. Kerangka konseptual untuk modul subjek STEM (Science, Technology, Engineering, dan Mathematics) yang dirancang untuk meningkatkan kualitas pendidikan STEM.
- [10] Mengidentifikasi tren dan perkembangan dalam penelitian pemikiran komputasional (CT) CT memiliki sifat umum sebagai disiplin yang sedang berkembang dan akan terus berkembang di masa depan.
- [11] Mengetahui bagaimana pengetahuan matematika, khususnya dalam mengidentifikasi pola berpikir komputasional, dapat dihubungkan melalui Pembelajaran matematika melalui pemrograman komputer telah terbukti dapat menghubungkan pembelajaran matematika, termasuk pemecahan masalah, pengukuran, konsep geometri, dan konsep spasial.

	keterlibatan dalam kegiatan pemrograman komputer.	
[12] (Han et al., 2021)	Mengevaluasi bagaimana faktor-faktor pemikiran komputasional, sosial, motivasional, dan instruksional memengaruhi hasil belajar siswa dalam STEM.	Kemampuan siswa dalam 21st century skills, seperti keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan komunikasi, juga berkontribusi pada peningkatan pengetahuan STEM mereka.
[13] (Nouri et al., 2020)	Memahami keterampilan apa yang dikembangkan oleh siswa dalam proses belajar pemrograman di sekolah.	Siswa dapat mengembangkan keterampilan berpikir komputasional, kompetensi digital, dan keterampilan abad ke-21, seperti keterampilan kognitif dan sikap, keterampilan bahasa, keterampilan kolaboratif dan sikap, serta keterampilan pemecahan masalah kreatif dan sikap.
[14] (Bati & Ikbal Yetisir, 2021)	Menentukan pandangan guru STEM (ilmu pengetahuan, teknologi, rekayasa, dan matematika) mengenai penggunaan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dalam pengajaran, pemberian penekanan pada keterampilan berpikir komputasional dalam pelajaran, dan tingkat pengembangan konseptual keterampilan berpikir komputasional.	Guru memerlukan tingkat pendidikan dan bimbingan yang memadai dalam mengintegrasikan TIK ke dalam pelajaran serta bagaimana menggunakan alat-alat ini secara konsisten di dalam kelas mereka.
[15] (Yang et al., 2022)	Mengevaluasi efek pemrograman robot terhadap kemampuan komputasi.	Pemrograman robot dapat meningkatkan kemampuan komputasi dan menunjukkan nilai yang besar.

Pemikiran Komputasional (CT), sebagai salah satu keterampilan penting abad ke-21, telah mendapatkan pengakuan luas sebagai kompetensi esensial di luar ranah ilmu komputer tradisional, khususnya dalam konteks pendidikan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Di era digital saat ini, pemahaman mendalam tentang CT tidak hanya menjadi penting untuk siswa yang belajar di bidang teknologi, tetapi juga untuk mereka yang berkecimpung dalam berbagai disiplin lain. CT, yang didefinisikan sebagai proses pemecahan masalah dengan cara yang dapat dipahami dan dieksekusi oleh komputer, menjadi kunci dalam pengembangan keterampilan seperti pemikiran logis, algoritmik, dan kreatif.

Pengintegrasian CT dalam pendidikan STEM memberikan siswa kemampuan untuk menerapkan pemahaman komputasi dalam konteks yang lebih luas, memperkaya proses belajar mereka dengan keterampilan pemecahan masalah yang efektif dan inovatif. Menurut penelitian oleh Sen et al. (2021), integrasi CT dalam aktivitas STEM terintegrasi

memungkinkan mahasiswa berbakat untuk memanfaatkan keterampilan berpikir kritis. Hal ini menunjukkan bahwa CT tidak hanya memperkuat aspek teknis pembelajaran tetapi juga menumbuhkan kemampuan analitis dan kreatif siswa. Penelitian ini menekankan pentingnya mengembangkan pendekatan pembelajaran yang memadukan CT dalam konteks STEM yang lebih luas, sehingga mempersiapkan siswa untuk berbagai tantangan di dunia nyata.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hou et al. (2020), ditemukan bahwa penerapan pedagogi yang mengintegrasikan CT mampu meningkatkan minat mahasiswa non-teknis dalam belajar teknologi. Ini menunjukkan bahwa CT memiliki peran penting dalam menjembatani kesenjangan antara siswa dengan latar belakang yang beragam dan dunia teknologi yang terus berkembang. Kong & Wang (2021) dalam penelitian mereka mengembangkan definisi operasional dari CT dan menguji alat penilaian efektivitas CT. Mereka berhasil memvalidasi struktur empat dimensi dari tes CT, yang menunjukkan keandalan dan relevansi dalam menilai keterampilan CT siswa. Penelitian ini memberikan landasan penting untuk penilaian dan pengembangan CT dalam pendidikan. Penelitian oleh Celik (2023) menyoroti bahwa CT merupakan penentu yang signifikan dalam keterampilan kecerdasan di berbagai bidang. Ini menunjukkan bahwa CT tidak hanya berkaitan dengan kemampuan teknis atau pemrograman, tetapi juga tentang bagaimana berpikir secara kritis dan kreatif dalam konteks teknologi.

Dalam konteks pengajaran CT kepada mahasiswa non-Computer Science, De Santo et al. (2022) menemukan bahwa gamifikasi buku catatan komputasi dapat digunakan sebagai alat untuk meningkatkan keterlibatan dan keterampilan pemahaman komputasi. Ini menunjukkan bahwa CT dapat diintegrasikan dalam berbagai bentuk pembelajaran, memperkuat keterampilan yang diperlukan untuk sukses dalam abad ke-21. Rahman et al. (2020) mengembangkan kerangka konseptual untuk modul subjek STEM yang dirancang untuk meningkatkan kualitas pendidikan STEM. Kerangka ini memasukkan CT sebagai elemen penting, menunjukkan perannya yang krusial dalam memperkaya pendidikan STEM. Tekdal (2021) menyoroti bahwa CT memiliki sifat umum sebagai disiplin yang sedang berkembang dan akan terus berkembang di masa depan. Penelitian ini menggambarkan CT sebagai bidang yang dinamis, dengan potensi yang terus berkembang untuk mempengaruhi berbagai aspek pendidikan dan pekerjaan.

Miller (2019) dalam penelitiannya menemukan bahwa pembelajaran matematika melalui pemrograman komputer dapat menghubungkan konsep matematika dengan pemecahan masalah, pengukuran, konsep geometri, dan konsep spasial. Hal ini menunjukkan bagaimana CT dapat berperan dalam memperkuat pemahaman matematika, salah satu komponen kunci dalam pendidikan STEM. Han et al. (2021) mengevaluasi bagaimana faktor-faktor CT, sosial, motivasional, dan instruksional memengaruhi hasil belajar siswa dalam STEM. Mereka menemukan bahwa keterampilan seperti pemecahan masalah, kreativitas, dan komunikasi berkontribusi pada peningkatan pengetahuan STEM. Nouri et al. (2020) meneliti bagaimana siswa mengembangkan keterampilan CT melalui proses belajar pemrograman. Penelitian ini menunjukkan bahwa siswa dapat mengembangkan keterampilan berpikir komputasional, kompetensi digital, dan keterampilan abad ke-21 lainnya. Bati & İkbal Yetişir (2021) menemukan bahwa guru memerlukan pendidikan dan bimbingan yang memadai dalam mengintegrasikan TIK ke dalam pelajaran serta bagaimana menggunakan alat-alat ini secara konsisten di dalam kelas mereka, terutama dalam konteks CT. Yang et al. (2022) menunjukkan bahwa pemrograman robot dapat meningkatkan kemampuan komputasi, menunjukkan nilai yang besar dalam pengembangan keterampilan CT.

KESIMPULAN

Integrasi keterampilan berpikir komputasional (CT) dalam pendidikan STEM memiliki dampak positif terhadap perkembangan keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran CT dapat meningkatkan minat siswa dalam teknologi, kinerja akademik, dan keterampilan kecerdasan dalam berbagai bidang. Selain itu, penggunaan metode pembelajaran inovatif seperti gamifikasi dan robotika dapat memperkaya pengalaman belajar siswa. Namun, pengembangan keterampilan CT juga memerlukan dukungan dan pelatihan yang memadai bagi guru dalam mengintegrasikannya dalam kurikulum. Pemahaman yang lebih baik tentang keterkaitan antara pemikiran komputasional dan mata pelajaran lain, seperti matematika, juga menawarkan peluang untuk meningkatkan pendidikan STEM secara keseluruhan. Dengan demikian, pemikiran komputasional memiliki peran penting dalam mempersiapkan siswa untuk era digital yang semakin berkembang.

References

- Bati, K., & İkbal Yetişir, M. (2021). Examination of Turkish Middle School STEM Teachers' Knowledge about Computational Thinking and Views Regarding Information and Communications Technology. *Computers in the Schools*, 38(1), 57–73. <https://doi.org/10.1080/07380569.2021.1882206>
- Celik, I. (2023). Exploring the Determinants of Artificial Intelligence (AI) Literacy: Digital Divide, Computational Thinking, Cognitive Absorption. *Telematics and Informatics*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2023.102026>
- De Santo, A., Farah, J. C., Martinez, M. L., Moro, A., Bergram, K., Purohit, A. K., Felber, P., Gillet, D., & Holzer, A. (2022). Promoting Computational Thinking Skills in Non-Computer-Science Students: Gamifying Computational Notebooks to Increase Student Engagement. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(3), 392–405. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3180588>
- Han, J., Kelley, T., & Knowles, J. G. (2021). Factors Influencing Student STEM Learning: Self-Efficacy and Outcome Expectancy, 21st Century Skills, and Career Awareness. *Journal for STEM Education Research*, 4(2), 117–137. <https://doi.org/10.1007/s41979-021-00053-3>
- Hou, H. Y., Agrawal, S., & Lee, C. F. (2020). Computational thinking training with technology for non-information undergraduates. *Thinking Skills and Creativity*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100720>
- John Lemay, D., Basnet, R. B., Doleck, T., Bazalais, P., & Saxena, A. (2021). Instructional interventions for computational thinking: Examining the link between computational thinking and academic performance. *Computers and Education Open*, 2, 100056. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100056>
- Kong, S. C., & Wang, Y. Q. (2020). Formation of computational identity through computational thinking perspectives development in programming learning: A

- mediation analysis among primary school students. *Computers in Human Behavior*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106230>
- Kong, S. C., & Wang, Y. Q. (2021). Item response analysis of computational thinking practices: Test characteristics and students' learning abilities in visual programming contexts. *Computers in Human Behavior*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106836>
- Miller, J. (2019). STEM education in the primary years to support mathematical thinking: using coding to identify mathematical structures and patterns. *ZDM - Mathematics Education*, 51(6), 915–927. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01096-y>
- Nouri, J., Zhang, L., Mannila, L., & Norén, 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>
- Ong, S. L., & Ling, J. P. W. (2020). Low-cost educational robotics car promotes STEM learning and 21st century skills. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering, TALE 2020*, 467–473. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368487>
- Rahman, M. A., Zakaria, M. S., & Din, R. (2020). Design STEM Subject Module: A Conceptual Framework. *2020 IEEE Conference on E-Learning, e-Management and e-Services, IC3e 2020*, 23–28. <https://doi.org/10.1109/IC3e50159.2020.9288391>
- Sen, C., Ay, Z. S., & Kiray, S. A. (2021). Computational thinking skills of gifted and talented students in integrated STEM activities based on the engineering design process: The case of robotics and 3D robot modeling. *Thinking Skills and Creativity*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100931>
- Tekdal, M. (2021). Trends and development in research on computational thinking. *Education and Information Technologies*, 26(5), 6499–6529. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10617-w>
- Yang, W., Ng, D. T. K., & Gao, H. (2022). Robot programming versus block play in early childhood education: Effects on computational thinking, sequencing ability, and self-regulation. *British Journal of Educational Technology*, 53(6), 1817–1841. <https://doi.org/10.1111/bjet.13215>