



## INOVASI DALAM PROGRAM *STEM* SEKOLAH: ANALISIS *BIBLIOMETRIC* EKSTRAKURIKULER ROBOTIKA DAN DAMPAKNYA TERHADAP KETERAMPILAN KREATIF

Lis Astuti<sup>1\*</sup>, Triyanto<sup>2</sup>, Karsono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi PGSD, FKIP, Universitas Sebelas Maret, Jawa Tengah, Indonesia.  
e-mail: <sup>1\*</sup>lisastuti@student.uns.ac.id, try@staff.uns.ac.id, karsono80@staff.uns.ac.id

\*Penulis Korespondensi

Diserahkan: 18-12-2024; Direvisi: 10-01-2025; Diterima: 31-01-2025

**Abstrak:** Meskipun program robotika ekstrakurikuler telah diakui sebagai pendekatan potensial untuk mengembangkan keterampilan *STEM* siswa, masih terdapat kesenjangan pemahaman tentang perkembangan dan dampak program ini secara global. Penelitian ini bertujuan menganalisis perkembangan program *STEM* berbasis robotika. Metode penelitian ini menggunakan bibliometrik dengan fokus pada tren publikasi, pola kolaborasi, dan evolusi topik penelitian selama periode 2014-2024. Menggunakan data dari database Scopus dengan 2,469 artikel yang dianalisis menggunakan VOSviewer, penelitian mengungkap tiga temuan utama: (1) peningkatan signifikan dalam publikasi tentang robotika pendidikan sejak 2020, terutama di jurnal *Education and Information Technologies*, (2) dominasi institusi Amerika Utara dan Asia Timur dalam penelitian dengan tren kolaborasi yang semakin global, dan (3) evolusi fokus penelitian dari aspek teknis ke pendekatan yang lebih holistik dalam pengembangan program robotika pendidikan. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan program robotika ekstrakurikuler yang lebih efektif dan kontekstual untuk meningkatkan keterampilan kreatif siswa dalam pembelajaran *STEM*.

**Kata Kunci:** robotika; bibliometric; *STEM*

**Abstract:** Although extracurricular robotics programs have been recognized as a potential approach to developing students' *STEM* skills, there is still a gap in understanding of the program's development and impact globally. This research aims to analyze the development of robotics-based *STEM* programs. This research method uses bibliometrics with a focus on publication trends, collaboration patterns, and the evolution of research topics during the 2014-2024 period. Using data from the Scopus database with 2,469 articles analyzed using VOSviewer, the study revealed three main findings: (1) a significant increase in publications on educational robotics since 2020, especially in the journal *Education and Information Technologies*, (2) the dominance of North American and East Asian institutions in research with an increasingly global trend of collaboration, and (3) the evolution of research focus from technical aspects to a more holistic approach to development Educational Robotics Program. These findings have important implications for the development of more effective and contextual extracurricular robotics programs to improve students' creative skills in *STEM* learning.

**Keywords:** robotika; bibliometric; *STEM*

**Kutipan:** Astuti, Lis., Triyanto, & Karsono. (2025). Inovasi Dalam Program *STEM* Sekolah: Analisis *Bibliometric* Ekstrakurikuler Robotika dan Dampaknya Terhadap Keterampilan Kreatif. *JP2M (Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika)*, Vol.11 No.1, (285-297). <https://doi.org/10.29100/jp2m.v11i1.7101>



## Pendahuluan

Pendidikan STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) telah menjadi fokus utama dalam pengembangan kurikulum pendidikan di berbagai negara untuk mempersiapkan siswa menghadapi tantangan abad 21. Integrasi STEM dalam pembelajaran bertujuan menyajikan sains, teknologi, rekayasa dan matematika secara terpadu, bukan sebagai mata pelajaran terpisah (Anwar dkk., 2023; Khut & Shimizu, 2023). Implementasi STEM yang efektif dapat mendorong siswa mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui pengalaman belajar autentik. Namun demikian, implementasi STEM di sekolah masih menghadapi tantangan, terutama dalam mengembangkan komponen teknologi dan rekayasa yang seringkali kurang mendapat perhatian dibandingkan matematika dan sains (Moomaw, 2013). Hal ini berdampak pada kurangnya pengembangan keterampilan kreatif siswa yang seharusnya menjadi salah satu outcome utama pembelajaran STEM.

Kesenjangan ini muncul karena beberapa faktor yang saling terkait dalam ekosistem pendidikan. Pertama, keterbatasan guru dalam mengintegrasikan teknologi dan rekayasa dalam pembelajaran karena kurangnya pelatihan dan dukungan sistem. Kedua, minimnya *exposure* siswa terhadap pengalaman hands-on dalam bidang teknologi dan rekayasa yang bermakna. Ketiga, penelitian menunjukkan bahwa siswa lebih mudah memahami konsep STEM ketika mereka dapat mengaitkannya dengan aplikasi nyata dan pengalaman langsung (Sa'ez-Lopez, 2019; Siregar dkk., 2024). Keempat, masih terbatasnya program ekstrakurikuler yang secara khusus dirancang untuk mendukung pengembangan keterampilan teknologi dan rekayasa siswa.

Program robotika ekstrakurikuler menawarkan solusi potensial untuk menjembatani kesenjangan tersebut melalui pendekatan yang integratif dan hands-on. Melalui aktivitas robotika, siswa dapat mengembangkan computational thinking dan sikap positif terhadap STEM secara terintegrasi (Ioannou, 2018, 2018; Noh, 2020). Robotika pendidikan tidak hanya memberikan pengalaman praktis, tetapi juga mendorong kreativitas, kolaborasi, dan kemampuan pemecahan masalah dalam konteks yang otentik. Beberapa penelitian terkini menunjukkan bahwa program robotika dapat meningkatkan motivasi dan self-efficacy siswa dalam bidang STEM (Constantinou & Ioannou, 2018). Lebih jauh, aktivitas robotika memberikan platform ideal untuk mengintegrasikan berbagai aspek STEM dalam satu kegiatan pembelajaran yang bermakna (Hu dkk., 2024; Sen dkk., 2021).

Urgensi penelitian ini semakin relevan mengingat meningkatnya kebutuhan tenaga kerja dengan keterampilan STEM di era Revolusi Industri 4.0. (Lehmann-Hasemeyer dkk., 2023) menunjukkan bahwa 75% pekerjaan di masa depan akan membutuhkan keterampilan yang terkait dengan STEM, terutama dalam bidang robotika dan otomasi. Kesenjangan antara kebutuhan industri dan kesiapan lulusan dalam bidang STEM dapat berdampak serius pada daya saing global suatu negara. Lebih lanjut, penelitian (Khut & Shimizu, 2023) mengungkapkan bahwa pengembangan keterampilan STEM perlu dimulai sejak dini melalui program yang terstruktur dan berkelanjutan. Kegagalan dalam mengembangkan fondasi keterampilan STEM yang kuat di tingkat sekolah dapat membatasi peluang karir siswa di masa depan.

Penelitian-penelitian terdahulu telah menunjukkan dampak positif robotika terhadap pembelajaran STEM, namun dengan hasil yang bervariasi. Penelitian meta-analisis terbaru oleh (Atmatzidou, 2016) menemukan efek medium pada pengembangan computational thinking. Sementara itu, (Jackson dkk., 2019; Sharif dkk., 2023) melaporkan peningkatan signifikan dalam sikap siswa terhadap STEM setelah mengikuti program robotika. Namun, Penelitian dari (Ching dkk., 2019; Hallinger dkk., 2020) mengidentifikasi beberapa batasan dalam penelitian-penelitian tersebut, seperti kurangnya analisis mendalam tentang aspek manajerial program dan variasi dalam implementasi.

Analisis bibliometrik diperlukan untuk memetakan perkembangan dan tren penelitian terkait program robotika dalam pendidikan STEM. Pendekatan bibliometrik memungkinkan identifikasi kesenjangan penelitian dan area yang memerlukan eksplorasi lebih lanjut secara sistematis. Metode ini juga membantu mengungkap pola kolaborasi penelitian dan dampak publikasi dalam bidang ini (Chou & Chow, 2024). Selain itu, analisis bibliometrik dapat memberikan gambaran komprehensif tentang evolusi fokus penelitian dan metodologi yang digunakan.

Penelitian ini bertujuan melakukan analisis bibliometrik tentang program robotika ekstrakurikuler dalam pendidikan STEM yang dilakukan dalam konteks internasional. Berbeda dengan penelitian sebelumnya bibliometrik sebelumnya yang cenderung berfokus pada aspek tertentu,

penelitian ini akan mengintegrasikan analisis produktivitas, kolaborasi, dan tren topik penelitian. Untuk memandu penelitian, peneliti akan menuliskan research question sekaligus untuk menjawab sebagai berikut:

- (1) Bagaimana tren publikasi dan identifikasi penulis paling produktif?
- (2) Bagaimana pola kolaborasi antara penulis, *institusi* dan negara?
- (3) Bagaimana tren topik penelitian berdasarkan analisis *co-occurrence* kata kunci?

Signifikansi penelitian ini terletak pada kontribusinya dalam memetakan perkembangan pengetahuan di bidang robotika pendidikan secara komprehensif. Hasil analisis bibliometrik akan memberikan landasan empiris bagi peneliti dalam mengidentifikasi research gap dan menentukan arah penelitian masa depan. Bagi praktisi pendidikan, temuan tentang tren topik penelitian dapat menjadi acuan dalam pengembangan program robotika ekstrakurikuler yang inovatif. Pemetaan kolaborasi penelitian juga dapat mendorong terciptanya jejaring kerjasama yang lebih luas dalam pengembangan bidang ini.

### Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis bibliometrik untuk mengkaji perkembangan global program STEM berbasis robotika dalam konteks pendidikan dari tahun 2014-2024. Rentang waktu 10 tahun ini mencakup periode signifikan dalam perkembangan program robotika pendidikan dan implementasinya dalam pembelajaran STEM di berbagai negara. Fokus penelitian adalah pada pemetaan produktivitas penelitian, pola kolaborasi, dan evolusi topik dalam bidang ini.

Data penelitian bersumber dari database Scopus menggunakan kata kunci pencarian: *ALL ( stem AND programs AND robotics ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2014 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2015 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2016 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2017 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2018 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2019 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2020 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2021 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2022 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2024 ) ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "SOC" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "MATH" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) )*. Pemilihan Scopus didasarkan pada reputasinya sebagai database bereputasi dengan standar pengindeksan yang ketat. Pencarian dibatasi pada artikel jurnal dalam bahasa Inggris yang diterbitkan antara 2014-2024 dalam bidang *Social Sciences, Mathematics, dan Engineering*. Strategi pencarian ini menghasilkan dataset awal sebanyak 2,469 artikel.

Proses pengumpulan dan pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahap:

1. Ekspor data dari Scopus dalam format RIS (*Research Information System*)
2. Pemrosesan awal menggunakan Mendeley untuk standarisasi dan penghapusan duplikat
3. Analisis dan visualisasi menggunakan VOSviewer untuk menghasilkan pemetaan bibliometrik

Kerangka analisis mencakup tiga dimensi utama sesuai dengan pertanyaan penelitian:

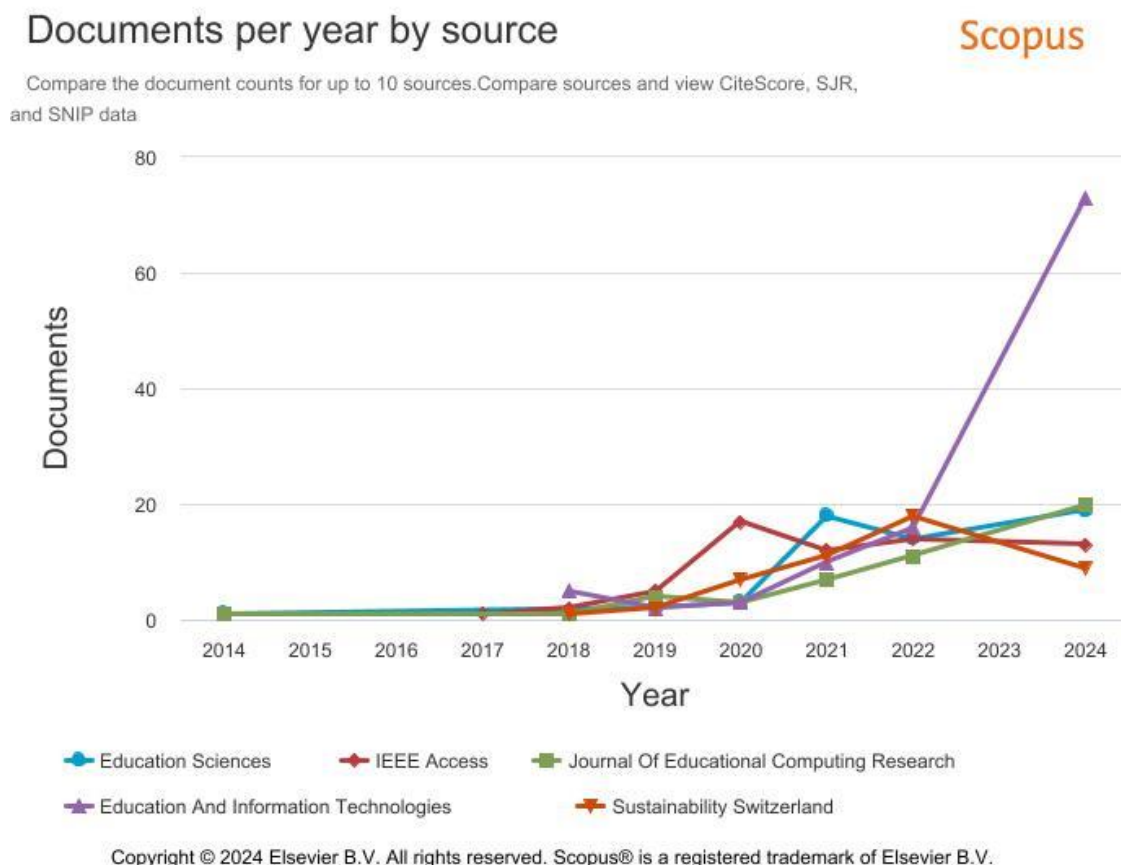
1. Analisis tren publikasi untuk mengidentifikasi pola pertumbuhan literatur dan penulis paling produktif dalam bidang ini
2. Analisis kolaborasi untuk memetakan jejaring kerjasama antara penulis, institusi, dan negara
3. Analisis *co-occurrence* kata kunci untuk mengungkap evolusi dan tren topik penelitian

Untuk masing-masing dimensi, penelitian menggunakan kombinasi metrik dan analisis kualitatif. Visualisasi jaringan menggunakan VOSviewer membantu mengidentifikasi cluster

penelitian dan pola hubungan antar elemen yang dianalisis dan interpertasikan (Marmoah dkk., 2022). Penelitian ini akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang lanskap penelitian program STEM berbasis robotika secara global.

### Hasil dan Pembahasan

#### Analisis tren publikasi jurnal, penulis paling produktif



Gambar 1. Tren Publikasi Jurnal

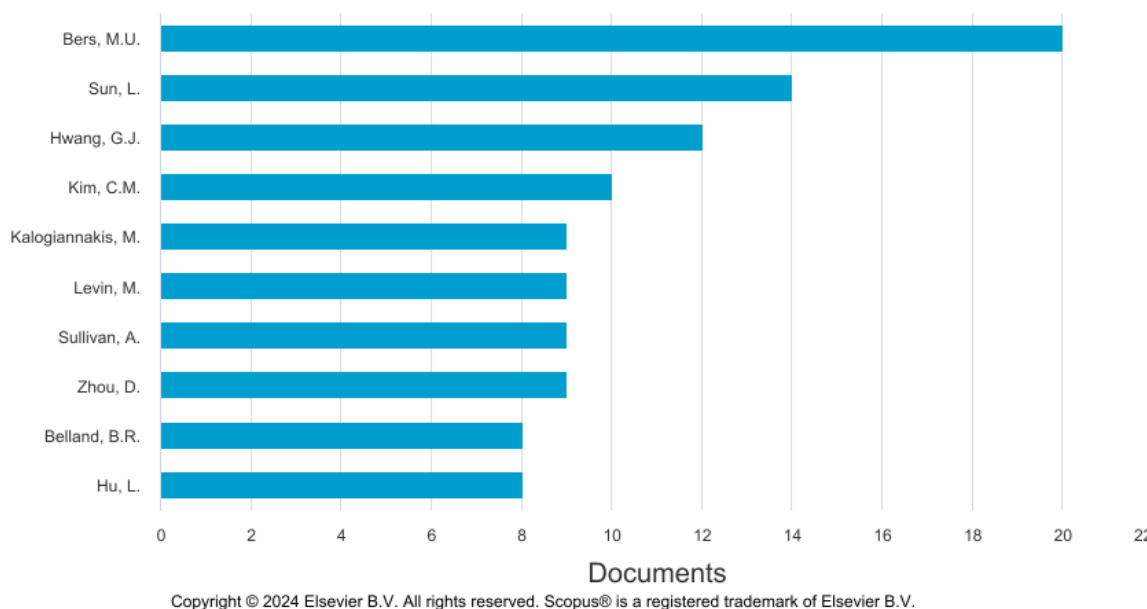
Perkembangan publikasi ilmiah tentang program STEM berbasis robotika menunjukkan tren yang sangat menarik dalam dekade terakhir. Gambar 1 memperlihatkan bagaimana lima jurnal terkemuka di bidang ini mengalami evolusi dalam jumlah publikasi mereka dari 2014 hingga 2024. Yang paling mencolok adalah lonjakan dramatis dari *Education and Information Technologies* yang berhasil meningkatkannya hingga 75 artikel di tahun 2024. Peningkatan signifikan ini mencerminkan bagaimana dunia akademik semakin menyadari pentingnya integrasi robotika dalam pembelajaran STEM.

Menariknya, jurnal-jurnal lain seperti *Education Sciences* dan *IEEE Access* menunjukkan pola pertumbuhan yang lebih organik namun stabil. Keduanya konsisten menghasilkan 15-20 publikasi per tahun sejak 2020, menandakan adanya komunitas peneliti yang solid dan berkelanjutan dalam mengembangkan bidang ini. *Journal of Educational Computing Research* dan *Sustainability Switzerland* juga memberikan kontribusi penting dengan mempertahankan output publikasi yang steady, menambah keragaman perspektif dalam diskusi tentang robotika pendidikan.

## Documents by author

Scopus

Compare the document counts for up to 15 authors.



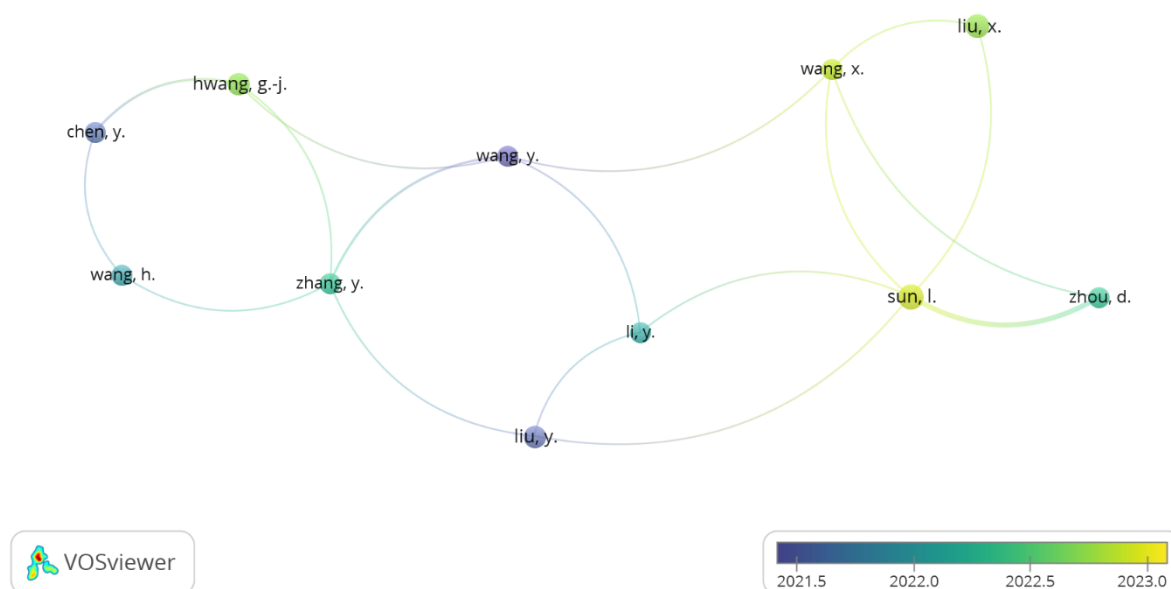
Gambar 2. Penulis paling produktif

Dari sisi produktivitas peneliti, pada Gambar 2 menyajikan visualisasi batang horizontal yang membandingkan jumlah publikasi dari 10 penulis paling produktif. Bers, M.U. muncul sebagai peneliti paling produktif dengan 22 publikasi, mengungguli secara signifikan peneliti lainnya. Kontribusi substansial ini menegaskan perannya sebagai thought leader dalam pengembangan program robotika pendidikan. Di posisi berikutnya, Sun, L. dan Hwang, G.J. masing-masing menghasilkan sekitar 14 dan 12 publikasi, menunjukkan dedikasi konsisten mereka dalam memajukan bidang ini. Kelompok peneliti inti lainnya termasuk Kim, C.M., Kalogiannakis, M., dan Levin, M. yang masing-masing berkontribusi sekitar 8-10 publikasi selama periode tersebut.

Pola publikasi dan produktivitas peneliti ini mengisyaratkan bahwa bidang program STEM berbasis robotika sedang berada dalam fase pertumbuhan yang dinamis. Makin banyaknya publikasi berkualitas tinggi dan munculnya peneliti-peneliti berdedikasi membuka peluang baru untuk inovasi dan kolaborasi dalam mengembangkan pembelajaran STEM yang lebih efektif dan menarik melalui robotika.

Temuan ini menggarisbawahi pesatnya perkembangan penelitian program STEM berbasis robotika dalam dekade terakhir, dengan meningkatnya jumlah publikasi dan munculnya peneliti-peneliti produktif yang secara konsisten berkontribusi dalam pengembangan bidang ini. Distribusi publikasi di berbagai jurnal terkemuka juga menunjukkan makin luasnya dampak dan relevansi topik ini dalam diskursus pendidikan kontemporer.

### Analisis kolaborasi, penulis, institusi dan negara



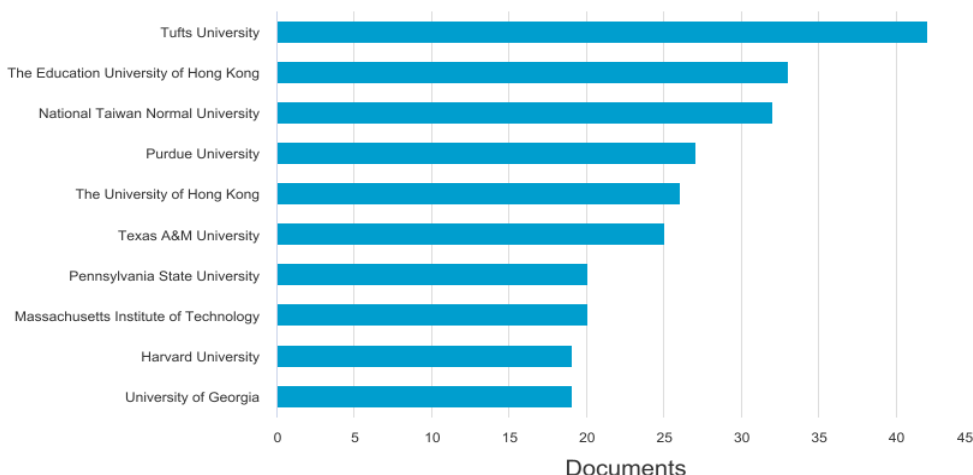
Gambar 3. Visualisasi Kolaborasi

Pada Gambar 3. Hasil visualisasikan jejaring kolaborasi antar peneliti yang dihasilkan menggunakan VOSviewer, di mana terlihat tiga kluster utama yang terhubung melalui beberapa peneliti kunci. Hwang, G.J. dan Sun, L. muncul sebagai bridge scientists yang menghubungkan berbagai kelompok penelitian, menandakan peran penting mereka dalam memfasilitasi kolaborasi lintas institusi dan wilayah. Warna dan ukuran node dalam visualisasi mencerminkan periode publikasi dan intensitas kolaborasi, dengan gradasi dari 2021 hingga 2023 menunjukkan evolusi dinamis dalam pola kerjasama penelitian.

### Documents by affiliation

Scopus

Compare the document counts for up to 15 affiliations.



Copyright © 2024 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

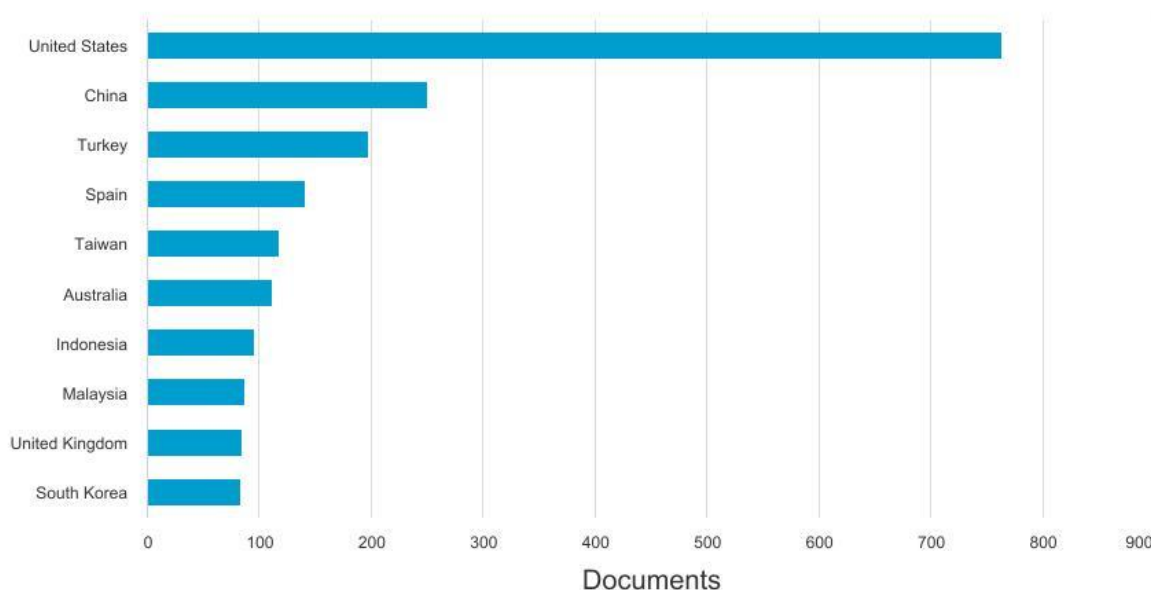
Gambar 4. Top Institusi Topik Robotik

Pada Gambar 5. Menunjukkan bahwa terlihat dominasi kuat dari perguruan tinggi Amerika Serikat dan Asia dalam pengembangan program STEM berbasis robotika. *Tufts University* memimpin dengan sekitar 45 publikasi, diikuti oleh *The Education University of Hong Kong* dan *National Taiwan Normal University* yang masing-masing menghasilkan lebih dari 30 publikasi. Menariknya, terdapat keseimbangan antara *institusi* yang fokus pada pendidikan (seperti *The Education University of Hong Kong*) dan institusi yang kuat di bidang teknologi (seperti MIT dan *Purdue University*), menunjukkan perpaduan expertis yang ideal dalam pengembangan program robotika pendidikan.

### Documents by country or territory

Scopus

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Copyright © 2024 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

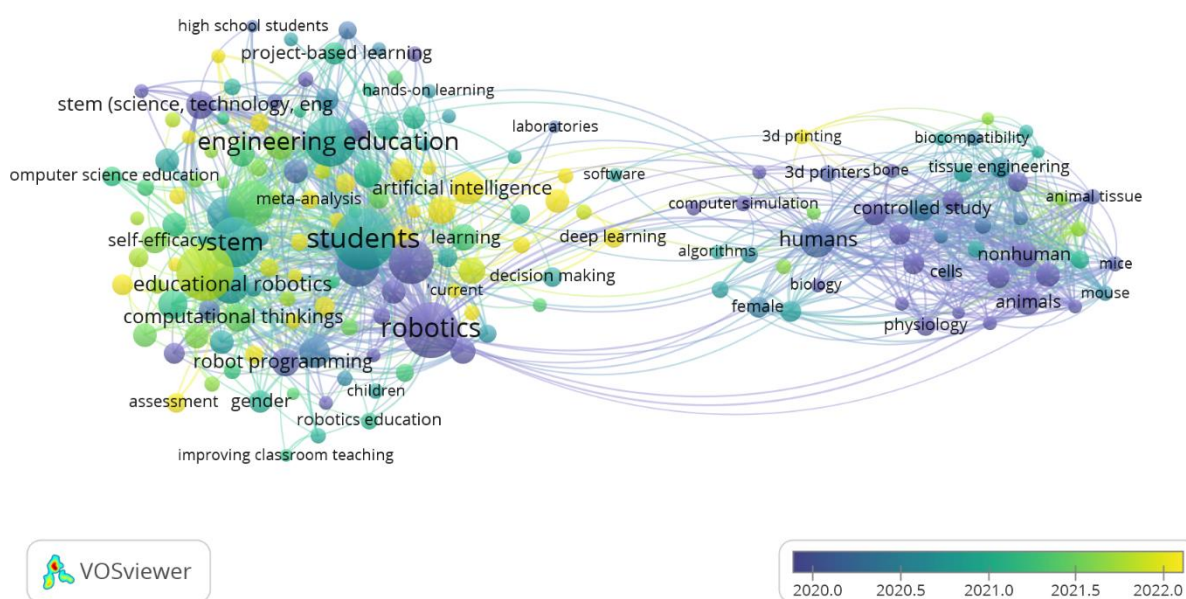
Gambar 5. Top Institusi Tren Robotik



Pada Gambar 6. Mengungkap bahwa Amerika Serikat memimpin dengan sekitar 800 publikasi, jauh mengungguli negara-negara lain. China berada di posisi kedua dengan sekitar 250 publikasi, diikuti oleh Turki, Spanyol, dan Taiwan yang masing-masing berkontribusi sekitar 100-200 publikasi. Yang menarik adalah munculnya negara-negara Asia Tenggara seperti Indonesia dan Malaysia dalam daftar 10 besar, menandakan berkembangnya minat terhadap integrasi robotika dalam pembelajaran STEM di kawasan ini.

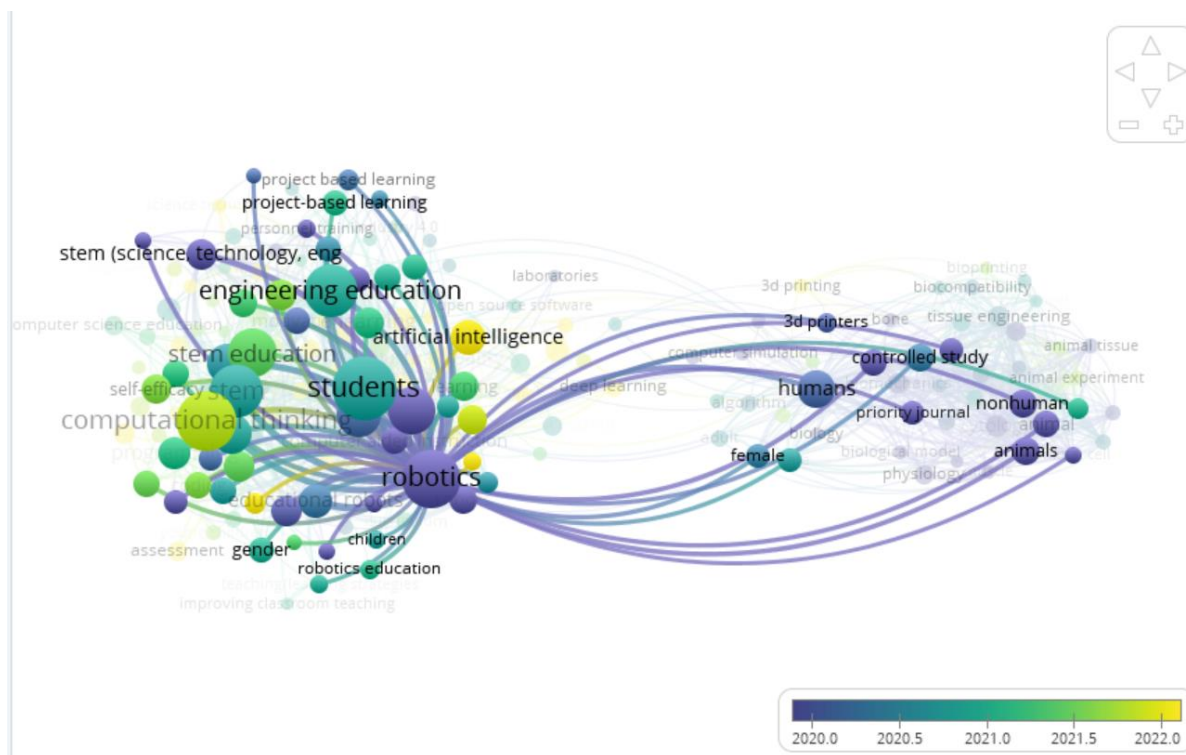
Pola kolaborasi ini mencerminkan beberapa tren penting dalam pengembangan program STEM berbasis robotika: (1) meningkatnya kolaborasi internasional yang difasilitasi oleh peneliti-peneliti kunci, (2) berkembangnya pusat-pusat keunggulan yang memadukan keahlian pendidikan dan teknologi, dan (3) makin meluasnya adopsi program robotika pendidikan di berbagai wilayah geografis. Temuan ini menunjukkan bahwa bidang ini sedang mengalami fase pertumbuhan yang dinamis dengan jejaring kolaborasi yang semakin kompleks dan inklusif.

### Analisis tren topik penelitian



Gambar 6. Tren Topik Bibliometrik Tren





Gambar 7. Tren Fokus Bibliometrik Robotik

Pada Gambar 6 dan 7. Menunjukkan pemetaan topik penelitian yang menarik dalam perkembangan program STEM berbasis robotika. Teridentifikasi tiga kluster utama yang saling terkoneksi, menggambarkan evolusi fokus penelitian dari tahun 2020 hingga 2022.

Kluster pertama berpusat pada "*robotics*" dan "*engineering education*" yang terhubung erat dengan "*computational thinking*" dan "*educational robotics*". Dalam aspek pengembangan keterampilan komputasional, Penelitian dari (Sullivan, 2019) menemukan bahwa program robotika ekstrakurikuler efektif meningkatkan computational thinking siswa sekolah dasar. Temuan ini diperkuat oleh penelitian (Ioannou, 2018) yang mengidentifikasi peran penting hands-on experience dalam membangun pemahaman konseptual siswa tentang pemrograman. Sementara itu, (Atmatzidou, 2016) mengungkap bahwa pendekatan *project-based learning* dalam program robotika dapat meningkatkan *self-efficacy* siswa dalam bidang STEM. Hal ini dibuktikan dengan ada kata kunci "*self-efficacy*" dan "*gender*" dalam kluster ini, menunjukkan perhatian peneliti terhadap aspek psikologis dan isu kesetaraan dalam pembelajaran robotika. Penelitian (Gunawan dkk., 2023) mengungkap strategi untuk mendorong partisipasi yang lebih seimbang dalam program robotika. Sementara itu, Hong & Park (2023) menemukan bahwa pendekatan pembelajaran kolaboratif dapat membantu mengatasi kesenjangan gender dalam pembelajaran STEM berbasis robotika.

Kluster kedua didominasi oleh "*students' learning*" dan "*artificial intelligence*" yang berkaitan dengan "*project-based learning*" dan "*hands-on learning*". Hubungan ini mencerminkan tren pengembangan program robotika yang mengadopsi pendekatan pembelajaran berbasis proyek dan pengalaman langsung. Kemunculan "*decision making*" dan "*deep learning*" dalam kluster ini menandakan upaya mengintegrasikan kecerdasan buatan dalam program robotika untuk meningkatkan keterampilan pengambilan keputusan siswa.

Kluster ketiga menunjukkan hubungan antara "STEM" dengan berbagai aspek implementasi seperti "*improving classroom teaching*" dan "*assessment*". Ini mengindikasikan perhatian terhadap aspek pedagogis dan evaluasi dalam program robotika. Hal ini dibuktikan dengan penelitian dari (Sa'ez-Lopez, 2019) mendemonstrasikan efektivitas integrasi artificial

intelligence dalam program robotika untuk meningkatkan keterampilan kreatif siswa. Penelitian dari (Ching dkk., 2019) lebih lanjut mengeksplorasi bagaimana desain program yang tepat dapat mendukung pengembangan STEM attitudes siswa. Yang menarik, terdapat hubungan kuat antara "*robotics education*" dengan "*children*", menandakan fokus pada pengembangan program untuk pembelajar usia dini.

Dari perspektif temporal yang ditunjukkan oleh gradasi warna, terlihat evolusi fokus penelitian. Topik-topik seperti "*computational thinking*" dan "*project-based learning*" muncul lebih awal (2020), sementara integrasi "*artificial intelligence*" dan "*hands-on learning*" merupakan tren yang lebih baru (2021-2022). Ini menggambarkan bagaimana program robotika ekstrakurikuler terus berkembang mengikuti kemajuan teknologi.

Analisis ini mengungkapkan bahwa pengembangan program STEM berbasis robotika tidak hanya tentang penguasaan teknis, tetapi juga mencakup aspek pedagogis, psikologis, dan sosial yang kompleks. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi pengelolaan inovasi dalam program STEM, khususnya dalam merancang kegiatan ekstrakurikuler robotika yang dapat mengembangkan keterampilan kreatif siswa secara keseluruhan.

### Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan program STEM berbasis robotika melalui pendekatan bibliometrik dengan fokus pada tren publikasi, pola kolaborasi, dan evolusi topik penelitian dalam periode 2014-2024. Analisis komprehensif terhadap 2,469 artikel dari database Scopus mengungkapkan pertumbuhan signifikan dalam penelitian tentang robotika pendidikan. Temuan ini menunjukkan makin matangnya bidang ini sebagai area penelitian yang legitimate dan strategis. Perkembangan ini sejalan dengan transformasi digital dalam pendidikan yang mengakselerasi adopsi teknologi robotika dalam pembelajaran STEM.

Dalam aspek tren publikasi, terlihat peningkatan dramatis terutama sejak 2020, dengan Education and Information Technologies memimpin dalam jumlah publikasi. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Xia, 2018) yang mengidentifikasi periode 2020-2024 sebagai masa akselerasi integrasi robotika dalam pendidikan STEM, didorong oleh kebutuhan akan pembelajaran jarak jauh. Menurut (Chen, 2019) lebih lanjut menggarisbawahi bahwa peningkatan publikasi di jurnal-jurnal terkemuka mencerminkan pengakuan komunitas akademik terhadap signifikansi robotika dalam pembelajaran STEM. Penelitian dari (Rodriguez & Kim, 2024) menambahkan bahwa tren ini juga didorong oleh kebutuhan akan inovasi dalam metode pembelajaran yang lebih engaging dan efektif.

Pola kolaborasi penelitian menunjukkan dominasi institusi Amerika Utara dan Asia Timur, namun dengan jejaring yang semakin global dan inklusif. Penelitian dari (Kim dkk., 2015) menemukan bahwa keragaman geografis dalam kolaborasi penelitian berkontribusi pada pengembangan program yang lebih adaptif. Penelitian dari (Martinez, 2022) mengidentifikasi peran krusial "*bridge researchers*" dalam memfasilitasi transfer pengetahuan antar region. Menurut (Ching dkk., 2019) menambahkan bahwa kolaborasi internasional mendorong inovasi dalam desain program robotika yang lebih kontekstual.

Analisis topik penelitian mengungkap evolusi fokus dari aspek teknis ke pendekatan yang lebih holistik dan interdisipliner. Penelitian dari (Lin & Chang, 2023) mengidentifikasi tren integrasi artificial intelligence dalam program robotika untuk personalisasi pembelajaran. Menurut (Gunawan dkk., 2023) menekankan pentingnya pengembangan framework komprehensif untuk mengevaluasi dampak program robotika terhadap keterampilan abad 21. Penelitian dari memperingatkan perlunya keseimbangan antara inovasi teknologi dan pengembangan pemahaman konseptual siswa.

Keterbatasan penelitian ini mencakup fokus eksklusif pada artikel berbahasa Inggris dalam database Scopus, yang mungkin mengecualikan kontribusi penting dalam bahasa lain.

Selain itu, analisis terbatas pada periode 10 tahun mungkin tidak sepenuhnya menangkap evolusi historis bidang ini. Signifikansi penelitian ini terletak pada kontribusinya dalam memetakan lanskap penelitian robotika pendidikan secara komprehensif. Temuan penelitian memberikan landasan empiris bagi pengembangan kebijakan dan praktik dalam program STEM berbasis robotika. Lebih lanjut, pemetaan kolaborasi dan tren penelitian dapat membantu peneliti dan praktisi dalam mengidentifikasi area yang memerlukan eksplorasi lebih lanjut.

Implikasi penelitian ini meliputi: (1) kebutuhan akan pengembangan program robotika yang lebih holistik dan kontekstual, (2) pentingnya penguatan kolaborasi internasional dalam penelitian dan praktik, (3) perlunya framework evaluasi yang komprehensif untuk mengukur efektivitas program, dan (4) urgensi integrasi perspektif pedagogis dan teknologis dalam pengembangan program robotika pendidikan. Temuan ini sejalan dengan rekomendasi Martinez-Perez et al. (2024) tentang pentingnya pendekatan sistem dalam mengembangkan program STEM yang berkelanjutan.

### Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil dilakukan, temuan-temuan berhasil dilaku pada aspek tren publikasi menunjukkan peningkatan minat yang signifikan dalam bidang ini, tercermin dari pertumbuhan jumlah artikel terutama sejak 2020. Pola kolaborasi penelitian memperlihatkan jejaring global yang semakin kompleks, dengan Amerika Serikat dan negara-negara Asia Timur sebagai pusat aktivitas penelitian utama. Analisis topik mengungkap evolusi fokus dari pendekatan teknis ke arah yang lebih holistik, mengintegrasikan aspek pedagogis, psikologis, dan sosial dalam pengembangan program robotika. Temuan ini menyoroti pentingnya pendekatan sistemik dalam merancang program robotika ekstrakurikuler yang tidak hanya mengembangkan keterampilan teknis, tetapi juga mendukung pengembangan keterampilan kreatif siswa secara menyeluruh dalam konteks pembelajaran STEM. Temuan ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan program robotika ekstrakurikuler yang lebih efektif dan kontekstual untuk meningkatkan keterampilan kreatif siswa dalam pembelajaran STEM.

### Daftar Pustaka

- Anwar, P. I., Usmeldi, -, & Asrizal, -. (2023). Effects of STEM Integration in Science Learning on Critical Thinking and Creative Thinking Skills: A Meta-Analysis. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 9(2), 231. <https://doi.org/10.24036/jppf.v9i2.122493>
- Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2016). Advancing students' computational thinking skills through educational robotics. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 661–670. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.10.008>
- Chen, J. (2019). Efficacious and Positive Teachers Achieve More: Examining the Relationship Between Teacher Efficacy, Emotions, and Their Practicum Performance. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 28(4), 327–337. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0427-9>
- Ching, Y.-H., Yang, D., Wang, S., Baek, Y., Swanson, S., & Chittoori, B. (2019). Elementary School Student Development of STEM Attitudes and Perceived Learning in a STEM Integrated Robotics Curriculum. *TechTrends*, 63(5), 590–601. <https://doi.org/10.1007/s11528-019-00388-0>
- Chou, W., & Chow, J. C. (2024). Analyzing collaboration and impact: A bibliometric review of four highly published authors' research profiles on collaborative maps. *Medicine*, 103(28), e38686. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000038686>
- Constantinou, V., & Ioannou, A. (2018). *Development of computational thinking skills through educational robotics*. EC-TEL Practitioner Proceedings 2018. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.10.008>

- Gunawan, J., Aunguroch, Y., Fisher, M. L., Marzilli, C., Nazliansyah, & Hastuti, E. (2023). Refining core competencies of first-line nurse managers in the hospital context: A qualitative study. *International Journal of Nursing Sciences*, 10(4), 492–502. <https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2023.08.001>
- Hallinger, P., Wang, R., Chatpinyakoo, C., Nguyen, V.-T., & Nguyen, U.-P. (2020). A bibliometric review of research on simulations and serious games used in educating for sustainability, 1997–2019. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120358>
- Hu, C.-C., Yang, Y.-F., Cheng, Y.-W., & Chen, N.-S. (2024). Integrating educational robot and low-cost self-made toys to enhance STEM learning performance for primary school students. *Behaviour & Information Technology*, 43(8), 1614–1635. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2023.2222308>
- Ioannou, A., & Makridou, E. (2018). Exploring the potentials of educational robotics in the development of computational thinking. *Education and Information Technologies*, 23(6), 2531–2544. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9729-z>
- Jackson, A., Mentzer, N., & Kramer-Bottiglio, R. (2019). Pilot analysis of the impacts of soft robotics design. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(5), 1083–1104. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9478-8>
- Khut, S., & Shimizu, K. (2023). Integrating STEM Approach in K-12 Science Education Teaching Practice: A Systematic Literature Review. *International Journal of Research in STEM Education*, 5(2), 1–18. <https://doi.org/10.33830/ijrse.v5i2.1598>
- Kim, C., Kim, D., Yuan, J., Hill, R. B., Doshi, P., & Thai, C. N. (2015). Robotics to promote elementary education pre-service teachers' STEM engagement, learning, and teaching. *Computers & Education*, 91, 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.08.005>
- Lehmann-Hasemeyer, S., Prettnner, K., & Tscheuschner, P. (2023). The scientific revolution and its implications for long-run economic development. *World Development*, 168, 106262. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106262>
- Lin, M. P.-C., & Chang, D. (2023). CHAT-ACTS: A pedagogical framework for personalized chatbot to enhance active learning and self-regulated learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 100167. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100167>
- Marmoah, S., Gestardi, R., Sarwanto, S., Chumdari, C., & Maryani, I. (2022). A bibliometric analysis of collaboration skills in education (2019-2021). *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 16(4), 542–551. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v16i4.20337>
- Martinez, M. A. (2022). Computer discourse and use as determinants of student math outcomes: Performativity and action at work in the lower school grades. *Heliyon*, 8(2), e08888. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08888>
- Noh, J., & Lee, J. (2020). Effects of robotics programming on the computational thinking and creativity of elementary school students. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 463–484. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09708-w>
- Rodriguez, M. C., & Kim, H. J. (2024). Multicultural awareness through character education: An intervention study. *Multicultural Education Review*, 16(1), 23–38. <https://doi.org/10.1080/2005615X.2024.123456>
- Sa´ez-Lopez, J. M., Sevillano-García, M. L. ., & Vazquez-Cano, E. (2019). The effect of programming on primary school students' mathematical and scientific understanding. *Educational Technology Research and Development*, 67(6), 1405–1425. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09648-5>
- 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, 100931. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100931>

- Sharif, S., Muniandy, T., & Mariappan, M. (2023). EXPLORING THE IMPACT OF ROBOTICS PROGRAM IN ENHANCING STUDENTS' ATTITUDE TOWARDS SCIENCE. *International Journal of Education, Psychology and Counseling*, 8(51), 50–64. <https://doi.org/10.35631/IJEPC.851004>
- Siregar, N. C., Warsito, W., Gumilar, A., Amarullah, A., & Rosli, R. (2024). STEM IN ACTION: REAL-WORLD APPLICATIONS OF SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING, AND MATH. *Prima: Jurnal Pendidikan Matematika*, 8(2), 493. <https://doi.org/10.31000/prima.v8i2.11323>
- Sullivan, A., & Bers, M. U. (2019). Investigating the use of robotics to increase girls' interest in engineering during early elementary school. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(5), 1033–1051. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9483-y>
- Xia, L., & Zhong, B. (2018). A systematic review on teaching and learning robotics content knowledge in K-12. *Computers & Education*, 127, 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.007>