



Contents lists available at [Journal ELORA](#)

**JRTI (Jurnal Riset Tindakan Indonesia)**

ISSN: 2502-079X (Print) ISSN: 2503-1619 (Electronic)

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



## Analisis bibliometrik robotika dan otomatisasi dalam pendidikan vokasi: struktur pengetahuan, tren penelitian, dan kesenjangan global (2017–2025)

Wiki Lofandri<sup>\*</sup>, Alzet Rama, Novrianti Novrianti  
Universitas Negeri Padang

### Article Info

#### Article history:

Received Jun 12<sup>th</sup>, 2025

Revised Aug 21<sup>th</sup>, 2025

Accepted Sep 26<sup>th</sup>, 2025

#### Keyword:

Robotika Pendidikan,  
Otomatisasi,  
Laboratorium vokasi,  
Bibliometric,  
Engineering education,  
TVET,  
Implementasi pedagogis,  
Industry 4.0

### ABSTRACT

Penelitian ini menyajikan analisis bibliometrik komprehensif terhadap literatur ilmiah yang membahas implementasi robotika dan otomatisasi di laboratorium pelatihan vokasi. Menggunakan data dari basis data Scopus dengan strategi pencarian Boolean terstruktur, sebanyak 154 artikel jurnal terindeks yang diterbitkan antara tahun 2017 hingga 2025 dianalisis secara sistematis. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk pemetaan ko-okorensi kata kunci, visualisasi jaringan penulis, dan overlay temporal. Hasil analisis mengidentifikasi empat kluster tematik utama: (1) engineering education dan robotika sebagai tema inti; (2) laboratorium jarak jauh dan virtual sebagai infrastruktur pembelajaran; (3) Project-Based Learning (PBL) sebagai pendekatan pedagogis dominan; dan (4) Industry 4.0 dan kecerdasan buatan sebagai tema berkembang. Temuan menunjukkan pertumbuhan eksponensial publikasi pada 2024–2025, didominasi oleh negara maju, dengan kesenjangan representasi signifikan pada konteks TVET di negara berkembang, khususnya Asia Tenggara. Penelitian ini mengidentifikasi tiga gap kritis: minimnya studi longitudinal, keterbatasan penelitian berbasis konteks TVET murni, serta absennya kerangka asesmen kompetensi robotika yang terstandarisasi. Implikasi teoritis dan praktis bagi pengembangan kurikulum kejuruan berbasis teknologi robotika dibahas secara kritis.



© 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,  
Universitas Negeri Padang  
Email: [wiloleaks@unp.ac.id](mailto:wiloleaks@unp.ac.id)

## Introduction

Revolusi industri keempat (Industry 4.0) telah mengubah secara fundamental lanskap keterampilan yang dibutuhkan oleh pasar kerja global. Integrasi robotika, otomatisasi, kecerdasan buatan, dan sistem siber-fisik ke dalam proses produksi tidak hanya mentransformasi cara manusia bekerja, tetapi juga mendefinisikan ulang kompetensi yang wajib dimiliki oleh lulusan pendidikan vokasi dan teknik. Dalam konteks ini, laboratorium pelatihan vokasi bukan lagi sekadar ruang latihan fisik konvensional, melainkan telah berevolusi menjadi ekosistem pembelajaran yang sarat teknologi tinggi, di mana robotika dan otomatisasi berperan sebagai medium sekaligus objek pembelajaran.

Secara global, laporan World Economic Forum (2023) memproyeksikan bahwa 85 juta pekerjaan akan tergantikan oleh otomatisasi pada tahun 2025, sementara 97 juta pekerjaan baru yang bersifat hibrid manusia-mesin akan muncul. Proyeksi ini menempatkan lembaga pendidikan vokasi dan teknik (TVET) pada posisi strategis yang kritis: mampu atau tidak mampu menyiapkan tenaga kerja yang adaptif terhadap ekosistem industri berbasis robot dan otomasi. Namun demikian, literatur akademik internasional mencatat bahwa transisi

ini belum berjalan merata. Di negara-negara maju, integrasi robotika ke dalam laboratorium pendidikan teknik telah mencapai tingkat sofistikasi yang tinggi, ditandai dengan adopsi remote laboratory, virtual reality (VR), dan platform pembelajaran berbasis kecerdasan buatan. Sebaliknya, di negara berkembang, khususnya kawasan Asia Tenggara, adopsi teknologi robotika dalam konteks TVET masih berada pada fase awal yang ditandai oleh keterbatasan infrastruktur, kapasitas instruktur, dan kerangka kurikulum yang belum adaptif.

Di Indonesia, sebagai negara dengan populasi terbesar keempat di dunia dan basis industri manufaktur yang terus berkembang, urgensi integrasi robotika dalam pendidikan vokasi semakin tidak dapat ditunda. Kebijakan Making Indonesia 4.0 yang diluncurkan pemerintah pada 2018 secara eksplisit menargetkan transformasi industri berbasis teknologi otomasi dan robotika, namun kesiapan lembaga Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dan politeknik untuk menghadirkan pengalaman belajar robotika yang bermakna masih menjadi pertanyaan besar yang memerlukan jawaban berbasis bukti ilmiah. Meskipun berbagai program hibah peralatan laboratorium telah diluncurkan, kajian sistematis mengenai bagaimana robotika dan otomatisasi diimplementasikan secara pedagogis di laboratorium pelatihan vokasi baik di tingkat global maupun nasional masih sangat terbatas.

Analisis bibliometrik menawarkan pendekatan yang tepat untuk memetakan kondisi pengetahuan global ini secara komprehensif. Dengan menganalisis pola publikasi, jaringan sitasi, ko-okorensi kata kunci, dan kolaborasi internasional, studi bibliometrik mampu mengungkap tidak hanya apa yang telah diketahui, tetapi juga apa yang belum diteliti, di mana gap pengetahuan berada, dan ke mana arah penelitian masa depan perlu difokuskan. Pendekatan ini telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang ilmu untuk menghasilkan sintesis pengetahuan yang sistematis dan berbasis data, bukan sekadar narasi anekdot.

Penelitian ini dirancang untuk mengisi gap tersebut melalui analisis bibliometrik terhadap 154 artikel jurnal Scopus yang membahas robotika dan otomatisasi dalam konteks laboratorium pelatihan vokasi dan teknik, diterbitkan antara 2017 dan 2025. Tiga pertanyaan penelitian utama diajukan: (1) Bagaimana tren perkembangan publikasi tentang robotika dan otomatisasi di laboratorium pelatihan vokasi dalam periode 2017–2025? (2) Apa tema-tema dominan, berkembang, dan yang terabaikan dalam literatur ini? (3) Di mana gap penelitian yang paling kritis dan apa rekomendasi agenda penelitian masa depan?

Kajian literatur awal menunjukkan bahwa meskipun topik robotika dalam pendidikan teknik telah mendapatkan perhatian akademik yang substansial, terdapat tiga gap penelitian yang secara konsisten muncul dalam lanskap publikasi yang ada. Pertama, mayoritas penelitian yang ada berfokus pada konteks pendidikan tinggi (universitas), sementara implementasi robotika di laboratorium TVET murni khususnya sekolah menengah kejuruan dan pusat pelatihan vokasi sangat kurang terwakili. Dari 154 artikel yang dianalisis, hanya sebagian kecil yang secara eksplisit menargetkan konteks TVET sebagai unit analisis utama, dan dari jumlah tersebut, dominasi penelitian dari negara maju sangat kentara.

Kedua, desain penelitian longitudinal yang mengukur dampak jangka panjang dari implementasi robotika terhadap kompetensi peserta didik dan kesiapan kerja hampir tidak ditemukan. Mayoritas studi menggunakan desain quasi-eksperimental jangka pendek atau review naratif, sehingga kesimpulan mengenai efektivitas pedagogi robotika masih bersifat tentatif dan terbatas pada konteks tertentu. Ketiga, tidak adanya kerangka asesmen kompetensi robotika yang terstandarisasi untuk konteks vokasi menjadi hambatan struktural dalam membandingkan temuan lintas studi dan lintas negara. Ketiga gap ini secara kolektif membentuk ruang kosong yang signifikan dalam bangunan pengetahuan bidang ini.

Urgensi penelitian ini dapat diargumentasikan dari tiga perspektif yang saling melengkapi. Dari perspektif ekonomi-industri, akselerasi otomatisasi dalam sektor manufaktur, logistik, dan jasa menjadikan kesiapan tenaga kerja berbasis kompetensi robotika sebagai kebutuhan mendesak yang tidak dapat ditunda. Dari perspektif kebijakan pendidikan, ketiadaan sintesis pengetahuan yang komprehensif menghambat pengambilan keputusan berbasis bukti dalam pengembangan kurikulum TVET nasional. Dari perspektif akademik, ledakan publikasi pada 2024–2025 yang terdeteksi dalam dataset ini mengindikasikan bahwa bidang ini sedang berada dalam fase perkembangan pesat yang memerlukan peta pengetahuan yang sistemik dan terbaru. Lebih lanjut, konteks Asia Tenggara dan Indonesia secara khusus menghadirkan urgensi tambahan yang berdimensi geopolitik. Persaingan regional dalam menarik investasi industri berbasis teknologi tinggi menuntut ketersediaan tenaga kerja terampil di bidang robotika dan otomasi. Tanpa basis pengetahuan pedagogis yang kuat tentang cara mengimplementasikan laboratorium robotika yang efektif di konteks TVET, kesenjangan antara kebutuhan industri dan kesiapan lulusan vokasi akan terus melebar.

Penelitian ini memberikan kontribusi orisinal pada setidaknya tiga dimensi. Pertama, ini merupakan studi bibliometrik pertama yang secara spesifik memfokuskan analisis pada persimpangan antara robotika-otomatisasi, laboratorium vokasi, dan implementasi pedagogis dalam satu kerangka analitis yang terintegrasi menggunakan dataset Scopus 2017–2025. Kedua, penggunaan kombinasi analisis ko-okorensi kata kunci,

overlay temporal VOSviewer, dan cluster tematik menghasilkan peta pengetahuan yang lebih kaya dan dinamis dibandingkan review naratif konvensional. Ketiga, penelitian ini secara eksplisit mengangkat perspektif negara berkembang dan Asia Tenggara sebagai lensa analisis, sehingga menghasilkan rekomendasi yang kontekstual dan tidak sekadar mereplikasi temuan dari literatur Barat.

## Metode

### Desain dan Pendekatan

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik kuantitatif dengan analisis deskriptif dan visual. Bibliometrik dipilih karena kemampuannya dalam mengolah volume data publikasi yang besar secara sistematis dan reproduktif, menghasilkan temuan yang dapat diverifikasi dan diulangi. Perangkat analisis utama yang digunakan adalah VOSviewer untuk visualisasi jaringan bibliometrik, meliputi jaringan ko-okorensi kata kunci, jaringan ko-penulis, dan overlay temporal.

### Sumber Data dan Strategi Pencarian

Data bersumber dari basis data Scopus, salah satu repositori literatur ilmiah terindeks terbesar dan paling komprehensif di dunia. Strategi pencarian menggunakan kueri Boolean berikut yang dirancang untuk menangkap seluruh spektrum penelitian yang relevan:

```
TITLE-ABS-KEY((robotic* OR robot* OR automation OR mechatronics OR "industrial robot*") AND (TVET OR "technical and vocational education" OR "vocational education" OR "technical education" OR "vocational training" OR "engineering education")) AND (laborator* OR "training laborator*" OR workshop OR "practical training" OR "hands-on learning" OR practicum OR laboratory) AND (pedagog* OR teach* OR learn* OR curriculum OR instruction OR education)) AND PUBYEAR > 2016 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO(PUBSTAGE,"final")) AND (LIMIT-TO(SRCTYPE,"j"))
```

### Proses Seleksi dan Kriteria Inklusi/Eksklusi

Pencarian awal menghasilkan 918 dokumen dari berbagai jenis. Proses penyaringan dilakukan secara bertahap: (1) Pembatasan pada jenis dokumen 'article' menghasilkan 156 dokumen; (2) Pembatasan pada tahap publikasi 'final' menghasilkan 155 dokumen; (3) Pembatasan pada jenis sumber 'journal' menghasilkan 154 dokumen yang menjadi korpus final analisis. Kriteria inklusi meliputi: artikel jurnal berbahasa Inggris yang terindeks Scopus, membahas robotika atau otomatisasi dalam konteks pendidikan vokasi atau teknik, diterbitkan antara 2017–2025, dan telah melewati proses peer review. Kriteria eksklusi mencakup: prosiding konferensi, buku atau bab buku, artikel review yang bukan artikel empiris atau analitik, serta dokumen yang tidak tersedia metadata lengkap.

### Analisis Data

Data diekspor dari Scopus dalam format CSV dan dianalisis menggunakan Python untuk statistik deskriptif (distribusi tahun, jurnal, penulis, negara, kata kunci, dan sitasi). Visualisasi bibliometrik dihasilkan menggunakan VOSviewer melalui tiga jenis visualisasi: (a) Network Visualization untuk pemetaan kluster tematik berdasarkan ko-okorensi kata kunci, (b) Overlay Visualization untuk analisis temporal evolusi tema, dan (c) Density Visualization untuk mengidentifikasi konsentrasi dan dominasi tema dalam jaringan.

## Hasil dan Pembahasan

### Gambaran Umum Dataset

Korpus final penelitian ini terdiri dari 154 artikel jurnal ilmiah yang terindeks Scopus, mencakup rentang publikasi dari tahun 2017 hingga 2025. Seluruh dokumen berupa artikel jurnal yang telah melalui proses peer review dan terbit dalam tahap final. Tidak ada dokumen prosiding, buku, atau gray literature yang diikutsertakan. Total sitasi yang terakumulasi dari 154 artikel ini mencapai 2.015 sitasi, dengan rata-rata 13,1 sitasi per artikel sebagai indikator dampak kumulatif yang signifikan untuk sebuah bidang yang relatif masih berkembang.

**Tabel 1.** Tren Publikasi Tahunan Robotika dan Otomatisasi di Laboratorium Vokasi (2017–2025)

| Tahun | Jumlah Dokumen | Persentase | Keterangan               |
|-------|----------------|------------|--------------------------|
| 2017  | 10             | 6.49%      | Fase awal / baseline     |
| 2018  | 17             | 11.04%     | Lonjakan awal signifikan |
| 2019  | 12             | 7.79%      | Konsolidasi              |

|       |     |        |                                 |
|-------|-----|--------|---------------------------------|
| 2020  | 14  | 9.09%  | Adaptasi pandemi COVID-19       |
| 2021  | 11  | 7.14%  | Stabilisasi pasca-pandemi       |
| 2022  | 11  | 7.14%  | Stabilisasi                     |
| 2023  | 11  | 7.14%  | Stabilisasi menuju akselerasi   |
| 2024  | 24  | 15.58% | Lonjakan kedua signifikan       |
| 2025  | 44  | 28.57% | Puncak pertumbuhan eksponensial |
| Total | 154 | 100%   |                                 |

### Analisis Tren Publikasi

Analisis tren tahunan mengungkap pola pertumbuhan yang tidak linear namun sangat informatif. Pada periode 2017–2019, terdapat aktivitas publikasi moderat dengan rata-rata 13 artikel per tahun, merepresentasikan fase fondasi penelitian di mana konsep-konsep dasar integrasi robotika dalam pendidikan teknik mulai diformalisasikan dalam literatur ilmiah. Periode 2020–2023 menunjukkan stabilisasi relatif dengan rata-rata 11,75 artikel per tahun. Menariknya, pandemi COVID-19 yang diperkirakan akan mengganggu produktivitas penelitian justru tidak menurunkan volume publikasi secara dramatis; sebaliknya, pandemi tampaknya menjadi katalisator bagi penelitian tentang laboratorium jarak jauh dan pembelajaran berbasis teknologi digital sebagai respons terhadap pembatasan akses fisik ke laboratorium.

Fase paling dramatis dimulai pada 2024, dengan 24 artikel (15,58%) dan mencapai puncaknya pada 2025 dengan 44 artikel (28,57%) hampir dua kali lipat volume tahun sebelumnya. Akselerasi eksponensial ini mengindikasikan bahwa bidang ini tengah memasuki fase kematangan ilmiah (scientific maturity) yang ditandai oleh konvergensi minat dari berbagai disiplin ilmu, didorong oleh semakin nyata dampak Industry 4.0 terhadap kebutuhan tenaga kerja vokasi dan meningkatnya aksesibilitas teknologi robotika yang semakin terjangkau.

### Analisis Jurnal Dominan

Computer Applications in Engineering Education (Wiley) mendominasi dengan 11 artikel (7,14%), diikuti oleh IEEE Transactions on Education (9 artikel, 5,84%). Dominasi jurnal-jurnal berbasis engineering education mengonfirmasi bahwa penelitian robotika-vokasi masih sangat erat terhubung dengan komunitas pendidikan teknik (engineering education community), bukan komunitas TVET atau vocational education yang spesifik. Ketidakhadiran jurnal spesialis TVET seperti Journal of Vocational Education & Training atau International Journal of Training Research dalam daftar teratas ini merupakan temuan yang signifikan dan mendukung argumen tentang gap penelitian TVET-spesifik.

**Tabel 2.** Distribusi Publikasi Berdasarkan Jurnal Sumber (Top 10)

| Nama Jurnal                                    | Dokumen | Persentase | Indeks         |
|------------------------------------------------|---------|------------|----------------|
| Computer Applications in Engineering Education | 11      | 7.14%      | Q2/Q1 Wiley    |
| IEEE Transactions on Education                 | 9       | 5.84%      | Q1 IEEE        |
| International Journal of Engineering Education | 8       | 5.19%      | Q2 Tempus      |
| Sensors (MDPI)                                 | 6       | 3.90%      | Q2 MDPI        |
| Applied Sciences (Switzerland)                 | 5       | 3.25%      | Q2 MDPI        |
| IEEE Access                                    | 4       | 2.60%      | Q1 IEEE        |
| Int. J. on Interactive Design & Manufacturing  | 3       | 1.95%      | Q2 Springer    |
| Int. J. Electrical Engineering & Education     | 3       | 1.95%      | Q2 Sage        |
| Sustainability (Switzerland)                   | 3       | 1.95%      | Q2 MDPI        |
| Experimental Technology and Management         | 3       | 1.95%      | Indexed Scopus |

### Analisis Penulis Dominan

Analisis produktivitas penulis dalam dataset ini menunjukkan bahwa kontribusi riset pada tema robotika, otomasi, dan pendidikan vokasi cenderung terkonsentrasi pada sejumlah kecil peneliti yang secara konsisten aktif mempublikasikan karya dalam periode yang dianalisis. Wang J. tercatat sebagai penulis dengan produktivitas tertinggi, yaitu sebanyak empat dokumen, dengan fokus kajian pada pendidikan teknik (engineering education) dan sistem otomasi. Temuan ini mengindikasikan adanya kontribusi signifikan dari kawasan Asia, khususnya China, dalam mewarnai perkembangan literatur pada domain tersebut.

Pola menarik lainnya tampak dari dominannya kelompok peneliti asal Meksiko dalam daftar penulis produktif. Guerrero-Osuna H.A. dan Ornelas-Vargas G. masing-masing berkontribusi tiga dokumen, sementara Castañeda-Miranda V.H. dan Garduno-Aparicio M. masing-masing menyumbang dua dokumen, dengan tema yang saling berkaitan erat, mulai dari robotika, mekatronika, hingga integrasi Internet of Things (IoT) dalam pendidikan teknik. Kesamaan afiliasi geografis serta keterkaitan topik di antara para penulis ini mengindikasikan kemungkinan adanya kolaborasi riset yang solid, baik dalam bentuk kelompok penelitian (research group) maupun jejaring institusi di Meksiko yang secara aktif mengembangkan kajian pada bidang robotika dan mekatronika untuk pendidikan vokasi.

**Tabel 3.** Penulis Paling Produktif dalam Corpus Penelitian

| Penulis                | Dok. | Negara/Institusi    | Topik Utama                        |
|------------------------|------|---------------------|------------------------------------|
| Wang J.                | 4    | China/Internasional | Engineering education, automation  |
| Guerrero-Osuna H.A.    | 3    | México (Zacatecas)  | Robotics, mechatronics, vocational |
| Ornelas-Vargas G.      | 3    | México              | Automation, control systems        |
| Katalinic B.           | 3    | Austria (TU Wien)   | Robotics, industrial education     |
| Bajči B.               | 2    | Serbia (Novi Sad)   | Remote laboratory, mechatronics    |
| Castañeda-Miranda V.H. | 2    | México              | IoT, engineering education         |
| González I.            | 2    | España              | OPC, sensors, control              |
| Garduno-Aparicio M.    | 2    | México              | Industrial robots, mechatronics    |

Selain kontribusi dari Asia dan Amerika Latin, keterlibatan peneliti dari kawasan Eropa turut memperkaya lanskap riset ini. Katalinic B. dari Austria, yang berafiliasi dengan Technische Universität Wien, berkontribusi sebanyak tiga dokumen dengan fokus pada robotika dan pendidikan industri, sejalan dengan reputasinya sebagai salah satu tokoh yang dikenal luas dalam forum-forum ilmiah DAAAM International. Sementara itu, Bajči B. dari Serbia dan González I. dari Spanyol masing-masing menyumbang dua dokumen, dengan penekanan pada pengembangan laboratorium jarak jauh (remote laboratory), sistem kontrol berbasis sensor, serta protokol komunikasi industri seperti OPC. Secara keseluruhan, sebaran afiliasi penulis yang mencakup Asia, Amerika Latin, dan Eropa ini mencerminkan bahwa isu robotika dan otomasi dalam konteks pendidikan vokasi merupakan topik riset yang mendapatkan perhatian secara global, meskipun intensitas kolaborasinya masih terpusat pada beberapa klaster institusi tertentu.

### Analisis Kata Kunci Dominan

Dominasi kata kunci "engineering education" dengan 32 kemunculan mengafirmasi temuan analisis jurnal sebelumnya bahwa komunitas peneliti engineering education merupakan penyumbang utama pengetahuan dalam bidang ini, sekaligus menegaskan bahwa wacana keilmuan yang terbentuk lebih banyak lahir dari tradisi akademik teknik secara umum, alih-alih dari komunitas pendidikan vokasi secara khusus. Kata kunci "mechatronics" (14) dan "robotics" (8) turut mengonfirmasi relevansi topik teknologi inti sebagai objek material yang paling banyak dikaji, menunjukkan bahwa perhatian akademik masih terpusat pada pengembangan kompetensi teknis-spesifik ketimbang pada aspek pedagogis pendidikan vokasi secara menyeluruh. Sementara itu, kemunculan "industry 4.0" (10) dan "artificial intelligence" (10) secara bersamaan dan dengan frekuensi yang setara mengindikasikan bahwa bidang penelitian ini tengah mengalami proses kontekstualisasi ulang, dari sekadar wacana otomasi industri konvensional menuju kerangka transformasi digital yang lebih luas dan lebih kompleks, seiring dengan menguatnya isu kecerdasan buatan sebagai kekuatan pendorong perubahan di berbagai sektor, termasuk sektor pendidikan.

Namun demikian, temuan yang paling signifikan sekaligus mengkhawatirkan justru terletak pada rendahnya kemunculan kata kunci "vocational education", yang hanya tercatat sebanyak 5 kali jauh tertinggal dibandingkan "higher education" yang mencapai 10 kemunculan. Kesenjangan frekuensi ini bukan sekadar

angka statistik semata, melainkan menjadi bukti kuantitatif yang mengonfirmasi secara empiris apa yang selama ini baru teridentifikasi secara kualitatif, yaitu adanya gap yang nyata antara literatur engineering education dan literatur TVET (Technical and Vocational Education and Training). Dengan kata lain, meskipun secara substansi kedua bidang ini saling beririsan sama-sama membahas kompetensi teknis, praktik industri, dan pembelajaran berbasis keterampilan namun secara diskursif keduanya tampak berkembang dalam jalur yang relatif terpisah, dengan engineering education yang lebih banyak berbicara dalam konteks pendidikan tinggi formal, sementara isu-isu khas vokasi seperti sertifikasi kompetensi, kemitraan dengan industri, dan pembelajaran berbasis kerja (work-based learning) belum mendapatkan porsi pembahasan yang proporsional. Kondisi ini pada gilirannya membuka ruang argumentasi bagi pentingnya penelitian lanjutan yang secara eksplisit menjembatani kedua ranah tersebut, agar transformasi teknologi seperti Industry 4.0 dan kecerdasan buatan tidak hanya menjadi wacana eksklusif di lingkungan pendidikan tinggi, tetapi juga benar-benar terintegrasi dalam praktik pendidikan vokasi yang menjadi tulang punggung penyiapan tenaga kerja terampil di lapangan.

**Tabel 4.** Kata Kunci Dominan berdasarkan Frekuensi Kemunculan

| Kata Kunci              | Frekuensi | Interpretasi                         |
|-------------------------|-----------|--------------------------------------|
| engineering education   | 32        | Tema inti dominator utama            |
| mechatronics            | 14        | Bidang teknis utama                  |
| industry 4.0            | 10        | Konteks transformasi industri        |
| artificial intelligence | 10        | Tema emergent terkini                |
| higher education        | 10        | Konteks institusional                |
| project-based learning  | 9         | Pendekatan pedagogis dominan         |
| robotics                | 8         | Objek penelitian inti                |
| remote laboratory       | 7         | Infrastruktur pembelajaran           |
| virtual reality         | 7         | Teknologi immersif                   |
| automation              | 7         | Konteks industri                     |
| educational technology  | 6         | Alat bantu pedagogis                 |
| STEM                    | 6         | Kerangka multidisiplin               |
| hands-on learning       | 5         | Metode pembelajaran berbasis praktik |
| vocational education    | 5         | Konteks TVET                         |
| augmented reality       | 5         | Teknologi emergent                   |

### Analisis Negara dan Kolaborasi Internasional

Amerika Serikat memimpin distribusi geografis publikasi dengan kontribusi sebanyak 22 dokumen (14,29%), diikuti oleh Spanyol dengan 14 dokumen (9,09%), serta China dan Meksiko yang masing-masing menyumbang 12 dokumen (7,79%). Pola distribusi ini tidak sekadar mencerminkan angka produktivitas semata, melainkan juga mengungkap beberapa implikasi kritis yang perlu dicermati lebih mendalam dalam memahami lanskap riset global pada bidang ini.

Pertama, dominasi negara-negara berbahasa Inggris dan Spanyol dalam peta kontribusi ini sebagian besar tidak dapat dilepaskan dari bias bahasa publikasi internasional yang telah lama menjadi isu dalam kajian bibliometrik. Basis data Scopus, sebagaimana basis data ilmiah internasional lainnya, cenderung lebih banyak mengindeks jurnal berbahasa Inggris dan, pada tingkat tertentu, jurnal berbahasa Spanyol yang diterbitkan oleh penerbit-penerbit besar dari kawasan Amerika Latin dan Semenanjung Iberia. Akibatnya, negara-negara dengan tradisi akademik yang kuat dalam kedua bahasa tersebut secara struktural memiliki peluang lebih besar untuk terepresentasikan dalam basis data, terlepas dari kualitas maupun intensitas riset yang sesungguhnya dilakukan oleh negara-negara lain yang menggunakan bahasa pengantar berbeda.

Kedua, kehadiran China dan Meksiko yang cukup signifikan dalam daftar kontributor utama mengindikasikan adanya pergeseran pola kontribusi ilmiah, dari yang semula didominasi negara-negara maju penghasil teknologi, menjadi lebih inklusif dengan melibatkan negara berkembang yang memiliki basis industri manufaktur kuat. Fenomena ini masuk akal mengingat kedua negara tersebut dikenal sebagai basis produksi

manufaktur global, sehingga kebutuhan akan tenaga kerja terampil di bidang teknik dan vokasi menjadi mendesak, yang pada gilirannya mendorong tumbuhnya aktivitas riset pada domain pendidikan teknik dan pelatihan vokasi sebagai respons terhadap kebutuhan industri domestik.

Ketiga, dan barangkali temuan yang paling kritis untuk direfleksikan, adalah tidak adanya satu pun negara Asia Tenggara yang berhasil masuk dalam sepuluh besar kontributor, meskipun Malaysia tampil sebagai representasi tertinggi dari kawasan ini dengan capaian 7 dokumen. Kesenjangan ini cukup mengejutkan, mengingat kawasan Asia Tenggara termasuk Indonesia memiliki populasi angkatan kerja yang besar serta kebutuhan mendesak akan pengembangan sistem TVET yang adaptif terhadap perkembangan Industry 4.0 maupun Industry 5.0. Minimnya representasi kawasan ini dalam literatur bertaraf internasional dapat mengindikasikan setidaknya dua kemungkinan: pertama, keterbatasan publikasi hasil riset kawasan ini pada jurnal-jurnal bereputasi dan terindeks Scopus, baik karena kendala bahasa, akses, maupun orientasi publikasi yang masih berfokus pada jurnal nasional atau regional; dan kedua, masih relatif terbatasnya intensitas riset yang secara spesifik mengangkat isu integrasi teknologi mutakhir dalam sistem pendidikan vokasi di kawasan ini. Kondisi ini sekaligus membuka peluang sekaligus tantangan bagi peneliti-peneliti dari kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia, untuk berkontribusi lebih aktif dalam mengisi kekosongan literatur tersebut, mengingat urgensi transformasi TVET di kawasan ini sesungguhnya tidak kalah mendesak dibandingkan negara-negara yang telah mendominasi peta publikasi global saat ini.

**Tabel 5.** Distribusi Publikasi Berdasarkan Negara Asal

| Negara          | Dok. | Persentase | Fokus Topik Utama                       |
|-----------------|------|------------|-----------------------------------------|
| Amerika Serikat | 22   | 14.29%     | Teknologi tinggi, STEM, remote lab      |
| Spanyol         | 14   | 9.09%      | Remote lab, virtual lab, otomatisasi    |
| China           | 12   | 7.79%      | Engineering education, AI, IoT          |
| Meksiko         | 12   | 7.79%      | Mechatronics, robotics, vokasi          |
| Rusia           | 8    | 5.19%      | Otomatisasi industri, vokasi            |
| Brasil          | 7    | 4.55%      | STEM, open hardware, robotics           |
| Kolombia        | 7    | 4.55%      | Pendidikan teknik, vokasi               |
| India           | 7    | 4.55%      | Project-based learning, mechatronics    |
| Malaysia        | 7    | 4.55%      | TVET, vocational, engineering education |
| Inggris         | 6    | 3.90%      | Digital tech, AEC, construction         |

### Analisis Artikel Paling Banyak Disitasi

Artikel yang paling banyak disitasi dalam korpus literatur ini adalah karya Salah et al. (2019), yang mengkaji penerapan teknologi virtual reality dalam pendidikan teknik untuk meningkatkan aspek keberlanjutan (sustainability) manufaktur dalam konteks Industry 4.0, dengan capaian 177 sitasi. Tingginya jumlah sitasi ini bukanlah fenomena kebetulan, melainkan mengindikasikan bahwa teknologi immersif seperti virtual reality telah menjadi pintu gerbang utama dalam diskursus akademik mengenai transformasi laboratorium pendidikan teknik, dari laboratorium fisik konvensional menuju lingkungan pembelajaran simulatif yang lebih fleksibel, aman, dan hemat biaya. Popularitas topik ini juga tidak lepas dari relevansinya dengan kebutuhan mendesak dunia pendidikan pascapandemi, ketika pembelajaran berbasis simulasi virtual menjadi solusi strategis untuk tetap menghadirkan pengalaman praktik teknis meskipun akses terhadap laboratorium fisik terbatas.

Posisi kedua ditempati oleh Hernandez-de-Menendez et al. (2020) yang mengulas berbagai teknologi masa depan dalam pembelajaran, dengan perolehan 127 sitasi, disusul oleh Garduno-Aparicio et al. (2018) yang mengangkat pendekatan multidisiplin dalam pengembangan robot industri untuk keperluan mekatronika, dengan 98 sitasi. Menariknya, ketiga artikel yang menempati posisi teratas ini memiliki benang merah yang cukup kuat, yaitu sama-sama berbicara tentang bagaimana teknologi mutakhir baik dalam bentuk realitas virtual, teknologi pembelajaran masa depan, maupun robotika industri dapat diintegrasikan ke dalam praktik pendidikan teknik untuk menjawab tantangan revolusi industri. Kesamaan tema ini menegaskan bahwa isu integrasi teknologi immersif dan otomasi dalam pendidikan teknik bukan sekadar topik yang populer secara sesaat, melainkan telah berkembang menjadi arus utama yang secara konsisten menarik perhatian dan rujukan dari peneliti-peneliti lain di bidang ini.

Secara kolektif, ketiga artikel tersebut dapat dipandang sebagai intellectual core atau inti intelektual dari bidang penelitian ini, dalam pengertian bahwa gagasan-gagasan yang mereka tawarkan telah menjadi rujukan fundamental yang membentuk arah perkembangan riset selanjutnya. Tingginya jumlah sitasi yang diperoleh ketiga karya ini juga mengindikasikan adanya konsensus keilmuan yang cukup kuat di kalangan peneliti, bahwa masa depan pendidikan teknik dan vokasi tidak dapat dilepaskan dari penguasaan teknologi digital dan otomasi. Dengan demikian, artikel-artikel rujukan utama ini tidak hanya berfungsi sebagai penanda tren riset semata, tetapi juga berperan sebagai fondasi konseptual yang akan terus dirujuk dan dikembangkan oleh peneliti-peneliti berikutnya, termasuk dalam upaya menjembatani kesenjangan antara literatur engineering education arus utama dengan kebutuhan spesifik pendidikan vokasi (TVET) yang selama ini masih relatif kurang terwakili dalam peta sitasi global.

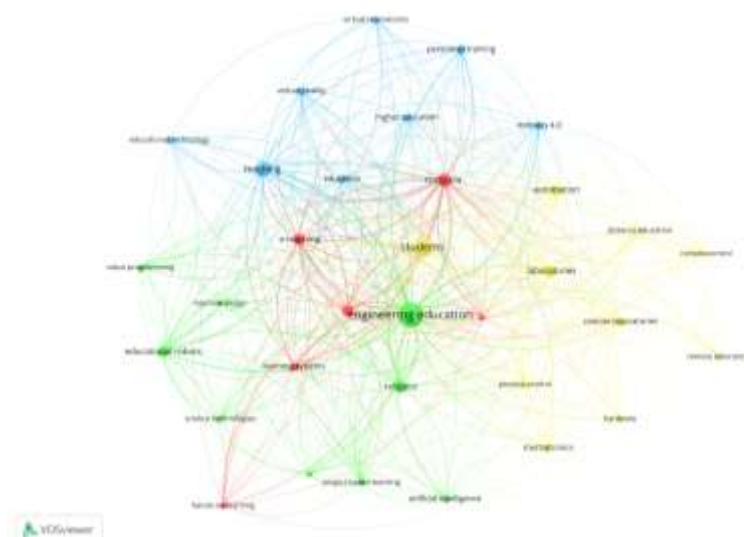
**Tabel 6.** Sepuluh Artikel Paling Banyak Disitasi dalam Corpus

| Penulis                              | Tahun | Sitasi | Judul Artikel                                                                                                | Jurnal                                     |
|--------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Salah et al.                         | 2019  | 177    | Virtual reality-based engineering education to enhance manufacturing sustainability in industry 4.0          | Sustainability (Switzerland)               |
| Hernandez-de-Menendez et al.         | 2020  | 127    | Technologies for the future of learning: state of the art                                                    | Int. J. Interactive Design & Manufacturing |
| Bosch-Sijtsema et al.                | 2021  | 99     | The hype factor of digital technologies in AEC                                                               | Construction Innovation                    |
| Garduno-Aparicio et al.              | 2018  | 98     | A Multidisciplinary Industrial Robot Approach for Teaching Mechatronics-Related Courses                      | IEEE Transactions on Education             |
| Badnjević et al.                     | 2019  | 82     | Evidence-based clinical engineering: Machine learning algorithms for prediction of defibrillator performance | Biomedical Signal Processing               |
| Salmerón-Manzano & Manzano-Agugliaro | 2018  | 75     | The higher education sustainability through virtual laboratories                                             | Sustainability (Switzerland)               |
| Pou et al.                           | 2022  | 64     | Computational Thinking and Educational Robotics Integrated into Project-Based Learning                       | Sensors                                    |
| Boltsi et al.                        | 2024  | 45     | Digital Tools, Technologies, and Learning Methodologies for Education 4.0                                    | IEEE Access                                |
| González et al.                      | 2017  | 43     | Integration of sensors, controllers and instruments using a novel OPC architecture                           | Sensors                                    |
| Chacón et al.                        | 2018  | 31     | Development of IoT applications in civil engineering classrooms using mobile devices                         | Comput. Appl. Eng. Education               |

### Analisis Visualisasi Bibliometrik VOSviewer

#### Network Visualization Jaringan Ko-okorensi Kata Kunci

Network visualization pada Gambar 1 mengungkap struktur jaringan ko-okorensi kata kunci yang terdiri dari empat kluster tematik utama yang dapat diidentifikasi berdasarkan warna. Kluster Merah (Cluster 1) merupakan kluster terbesar dan paling padat, berpusat pada node 'engineering education' (node terbesar dalam jaringan) yang terhubung kuat dengan 'students', 'curricula', 'robotics', 'e-learning', dan 'learning systems'. Kluster ini merepresentasikan mainstream penelitian yang membahas integrasi robotika dalam kurikulum pendidikan teknik dengan fokus pada pengalaman belajar mahasiswa. Posisi sentral 'engineering education' dalam jaringan mengonfirmasi peranannya sebagai gateway konseptual yang menghubungkan seluruh tema dalam bidang ini.



**Gambar 1.** Network Visualization Ko-okorensi Kata Kunci (VOSviewer). Ukuran node merepresentasikan frekuensi kemunculan; ketebalan garis merepresentasikan kekuatan ko-okorensi; warna kluster merepresentasikan kelompok tematik.

Kluster Hijau (Cluster 2) mencakup node-node yang berkaitan dengan pedagogi alternatif dan teknologi robotika, meliputi 'educational robots', 'machine design', 'robot programming', 'science technologies', 'project-based learning', 'hands-on learning', dan 'artificial intelligence'. Kluster ini merepresentasikan penelitian yang berfokus pada pendekatan pembelajaran berbasis proyek dan praktik dengan robot edukasi sebagai media. Kedekatan 'hands-on learning' dan 'project-based learning' dalam kluster yang sama mengindikasikan bahwa dua pendekatan ini diperlakukan secara bersamaan oleh komunitas peneliti sebagai strategi pedagogis yang saling melengkapi.

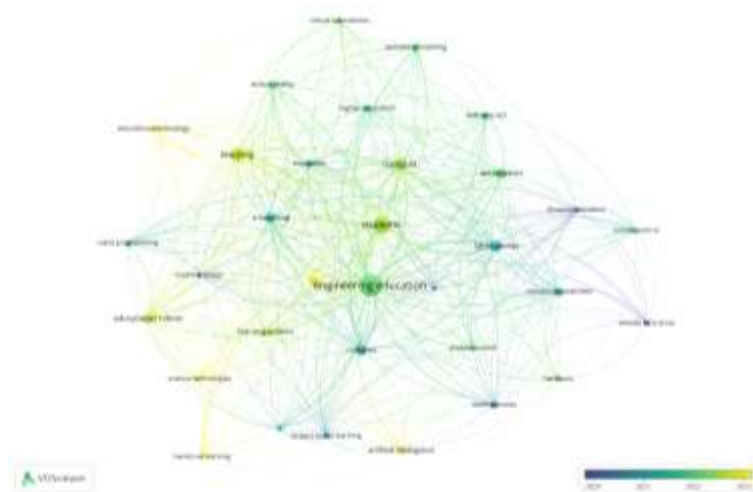
Kluster Kuning (Cluster 3) mencakup 'automation', 'laboratories', 'industry 4.0', 'mechatronics', 'process control', 'hardware', 'remote laboratories', 'remote laboratory', 'distance education', dan 'remote control'. Kluster ini merepresentasikan penelitian yang berfokus pada infrastruktur laboratorium baik fisik maupun virtual/jarak jauh dalam konteks otomatisasi industri dan mechatronics. Kehadiran 'industry 4.0' dalam kluster ini mengafirmasi bahwa transformasi industri merupakan motor penggerak penelitian infrastruktur laboratorium teknik.

Kluster Biru (Cluster 4) mencakup 'teaching', 'education', 'educational technology', 'higher education', 'virtual reality', 'virtual laboratories', dan 'personnel training'. Kluster ini merepresentasikan penelitian yang berfokus pada aspek metodologi pengajaran dan teknologi pendidikan dalam konteks pendidikan tinggi, dengan virtual reality dan virtual laboratory sebagai medium utama. Fakta bahwa 'personnel training' muncul dalam kluster ini mengindikasikan adanya jembatan antara penelitian akademik dan kebutuhan pelatihan industri.

### Overlay Visualization Analisis Temporal Evolusi Tema

Overlay visualization pada Gambar 2 memberikan dimensi temporal pada peta pengetahuan, mengungkap evolusi historis fokus penelitian. Kata kunci berwarna ungu gelap hingga biru (merepresentasikan tahun 2020 atau lebih awal) mencakup 'remote control', 'remote laboratories', 'remote laboratory', 'distance education', dan 'process control'. Ini mengindikasikan bahwa penelitian tentang laboratorium jarak jauh dan kontrol proses merupakan tema yang lebih mapan dan lebih awal berkembang, kemungkinan besar dipercepat oleh pembatasan akses fisik selama pandemi COVID-19 pada 2020–2021.

Di sisi lain, kata kunci berwarna kuning cerah hingga hijau muda (merepresentasikan tahun 2022–2023 ke atas) mencakup 'educational technology', 'educational robots', 'robot programming', 'hands-on learning', 'artificial intelligence', dan 'project-based learning'. Ini adalah tema-tema yang paling aktif berkembang pada periode terbaru, mengindikasikan pergeseran fokus penelitian dari infrastruktur laboratorium (remote labs) menuju pendekatan pedagogis yang lebih holistik bagaimana mendidik melalui robot, bukan sekadar mendidik tentang robot. Implikasi teoritis dari temuan ini adalah bahwa komunitas peneliti semakin bergerak dari paradigma technology-centric menuju pedagogy-centered approach dalam mengintegrasikan robotika di laboratorium.

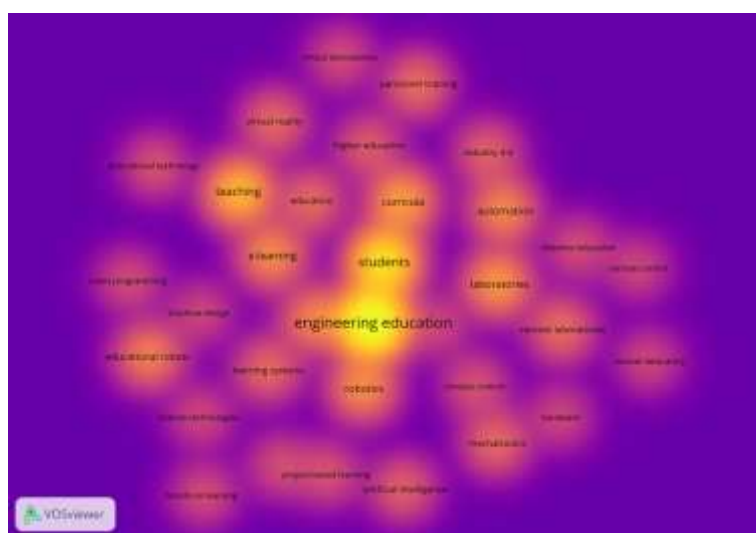


**Gambar 2.** Overlay Visualization Ko-okorensi Kata Kunci (VOSviewer). Warna node merepresentasikan rata-rata tahun kemunculan: ungu/biru tua = tema lama (2020), kuning/hijau muda = tema terbaru (2023+).

Node 'engineering education' dan 'students' yang berada di rentang warna tengah (hijau-teal, sekitar 2021–2022) mengindikasikan bahwa tema-tema sentral ini tetap konsisten relevan sepanjang periode analisis, berfungsi sebagai jangkar konseptual yang menghubungkan tema-tema lama dan tema-tema baru dalam satu ekosistem pengetahuan yang berkesinambungan.

#### Density Visualization Peta Kepadatan Pengetahuan

Density visualization pada Gambar 3 menyajikan representasi visual yang paling intuitif mengenai di mana konsentrasi penelitian terpusat dan di mana terdapat ruang penelitian yang masih terbuka. Area berwarna kuning terang hingga oranye-merah (hot spots) mengidentifikasi 'engineering education' sebagai epicenter yang tidak terbantahkan dari seluruh jaringan penelitian ini, dengan 'students' dan 'robotics' sebagai hot spot sekunder yang signifikan. 'Automation' dan 'curricula' juga menampilkan kepadatan yang tinggi, mengindikasikan bahwa integrasi kurikulum otomatisasi dalam pendidikan teknik merupakan salah satu tema yang paling intensif diteliti.



**Gambar 3.** Density Visualization Ko-okorensi Kata Kunci (VOSviewer). Warna kuning/oranye terang = area kepadatan tinggi (volume penelitian besar); warna ungu gelap = area kepadatan rendah (frontier penelitian).

Sebaliknya, area berwarna ungu gelap di pinggiran jaringan merepresentasikan frontier penelitian topik-topik yang ada dalam percakapan akademik namun belum mendapatkan perhatian penelitian yang memadai. 'Hands-on learning', 'project-based learning', 'artificial intelligence', dan 'science technologies' berada di zona ini, mengindikasikan potensi penelitian yang sangat besar dan relevan untuk dikembangkan lebih lanjut. Secara khusus, 'hands-on learning' yang berwarna ungu gelap namun terhubung kuat dengan kluster inti merepresentasikan sebuah paradoks: pedagogis yang paling relevan untuk TVET justru yang paling kurang diteliti secara sistematis.

### Sintesis Literatur dan Analisis Komparatif

Gambaran yang lebih utuh mengenai karakteristik penelitian dalam corpus yang dianalisis, sintesis literatur pada Tabel 7 menampilkan empat belas artikel representatif yang mewakili keragaman metodologis, geografis, dan tematik dalam bidang ini. Bila dicermati dari sisi pendekatan metodologis, tampak bahwa penelitian eksperimental dan kuasi-eksperimen menjadi pilihan yang cukup dominan digunakan oleh para peneliti untuk menguji efektivitas suatu intervensi pembelajaran secara empiris. Salah et al. (2019), misalnya, melalui eksperimen berbasis virtual reality berhasil menunjukkan bahwa teknologi VR mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep keberlanjutan manufaktur dalam kerangka Industry 4.0 secara signifikan. Temuan serupa juga diperkuat oleh Pou et al. (2022) yang menerapkan pendekatan kuasi-eksperimen berbasis project-based learning pada siswa sekolah menengah di Spanyol, dan menemukan bahwa integrasi computational thinking dengan robotika mampu mendongkrak kompetensi digital peserta didik. Pola yang tidak jauh berbeda juga terlihat pada penelitian Hu et al. (2024) di Taiwan, yang membuktikan bahwa penggunaan robot dan mainan mandiri dalam pembelajaran berbasis proyek efektif meningkatkan sikap sekaligus hasil belajar STEM pada siswa sekolah dasar, serta Song et al. (2019) di Hong Kong yang mengonfirmasi bahwa latihan MATLAB berbasis active learning mampu memperkuat pemahaman konseptual mahasiswa teknik secara signifikan.

Selain pendekatan eksperimental, sejumlah penelitian lain memilih untuk berfokus pada aspek perancangan dan pengembangan sistem teknis sebagai basis kajian pembelajaran. Šulc et al. (2018) dari Serbia, misalnya, merancang perangkat remote laboratory mechatronics yang dipadukan dengan kuesioner evaluatif, dan menemukan bahwa laboratorium jarak jauh mampu meningkatkan fleksibilitas belajar mahasiswa dalam melakukan eksperimen berbasis praktik. Sejalan dengan itu, González et al. (2017) mengembangkan prototipe arsitektur OPC yang memungkinkan integrasi sensor dan kontroler untuk mendukung pembelajaran otomasi, sementara Vera et al. (2024) merancang sistem remote laboratory berbasis framework fleksibel yang terbukti efektif digunakan dalam praktikum elektronika digital secara daring. Pendekatan berbasis pengembangan sistem juga tercermin dalam penelitian Chacón et al. (2018) di Brasil, yang menerapkan action research berbasis IoT dan menemukan bahwa pengembangan aplikasi berbasis Internet of Things mampu meningkatkan motivasi sekaligus pemahaman mahasiswa teknik sipil terhadap materi perkuliahan. Kecenderungan ini memperlihatkan bahwa dalam bidang pendidikan teknik dan vokasi, pengembangan artefak teknologi tidak semata dipandang sebagai produk rekayasa, melainkan juga sekaligus berfungsi sebagai media dan objek penelitian pedagogis itu sendiri.

Di sisi lain, sejumlah artikel dalam corpus ini juga menampilkan pendekatan yang bersifat lebih reflektif dan makro, melalui studi review sistematis maupun studi kasus institusional. Hernandez-de-Menendez et al. (2020) melalui review sistematis yang dilakukannya menyimpulkan bahwa teknologi immersif seperti VR, AR, dan robotika saat ini mendominasi arah inovasi pembelajaran masa depan, sebuah simpulan yang kemudian diperkuat oleh Ryalat et al. (2025) melalui tinjauan sistematis tentang robotika dalam pendidikan, yang mengungkap tren integrasi kecerdasan buatan, kolaborasi manusia-robot, serta tantangan skalabilitas yang masih perlu diatasi. Pada level institusional, Salmerón-Manzano dan Manzano (2018) melalui studi kasus di sejumlah universitas Spanyol menemukan bahwa laboratorium virtual turut mendukung keberlanjutan pendidikan tinggi melalui efisiensi pemanfaatan sumber daya, sementara Bosch-Sijtsema et al. (2021) melalui pendekatan mixed methods pada praktisi Arsitektur, Teknik, dan Konstruksi (AEC) di Swedia justru mengungkap temuan yang lebih kritis, yaitu adanya kesenjangan antara ekspektasi yang dibangun seputar hype teknologi digital seperti BIM, VR, dan drone, dengan realitas adopsi teknologi tersebut di lapangan yang ternyata masih berjalan lebih lambat dari yang diperkirakan.

Yang tidak kalah menarik untuk dicermati adalah bagaimana dimensi kolaboratif dan lintas jenjang pendidikan turut mewarnai corpus literatur ini. Fruett et al. (2024) melalui workshop hands-on yang melibatkan 36 peserta dalam ajang Latinoware di Brasil menunjukkan bahwa pemanfaatan perangkat open hardware BitDogLab yang dipadukan dengan pemrograman berbasis AI terbukti efektif diterapkan dalam pembelajaran STEAM lintas jenjang pendidikan, mulai dari tingkat dasar hingga tinggi. Sementara itu, Boltsi et al. (2024) melalui survei berbasis literatur di Yunani turut menegaskan bahwa perangkat digital dan kecerdasan buatan kini mendominasi arah transformasi pembelajaran dalam kerangka Engineering 4.0. Bila ditelaah secara keseluruhan, keempat belas artikel representatif ini yang berasal dari sembilan negara berbeda dan menggunakan beragam pendekatan metodologis, mulai dari eksperimen, pengembangan sistem, hingga review sistematis secara kolektif menggambarkan bahwa penelitian pada domain pendidikan teknik dan vokasi saat ini tengah bergerak menuju satu arah yang cukup konvergen, yaitu integrasi teknologi immersif dan kecerdasan buatan ke dalam praktik pembelajaran berbasis proyek dan pengalaman langsung, meskipun demikian tantangan terkait kesenjangan antara harapan dan realitas implementasi di lapangan tetap menjadi catatan kritis yang perlu terus mendapat perhatian dalam pengembangan riset selanjutnya.

**Tabel 7.** Sintesis Literatur: Artikel Representatif dalam Corpus Penelitian

| Penulis                      | Tahun | Negara     | Metode                         | Sampel                 | Temuan Utama                                                                               |
|------------------------------|-------|------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Salah et al.                 | 2019  | Arab Saudi | Eksperimen VR-based            | N/A (VR environment)   | VR meningkatkan pemahaman manufacturing sustainability di Ind. 4.0 secara signifikan       |
| Garduno-Aparicio et al.      | 2018  | Meksiko    | Desain kurikulum multidisiplin | Mahasiswa teknik       | Robot industri efektif sebagai media pembelajaran mechatronics lintas disiplin             |
| Hernandez-de-Menendez et al. | 2020  | Meksiko    | Review sistematis              | N/A                    | Teknologi immersif (VR, AR, robotics) mendominasi inovasi pembelajaran masa depan          |
| Pou et al.                   | 2022  | Spanyol    | Quasi-eksperimen PBL           | Siswa sekolah menengah | Integrasi computational thinking dan robotics dalam PBL meningkatkan kompetensi digital    |
| Šulc et al.                  | 2018  | Serbia     | Desain perangkat + kuesioner   | Mahasiswa teknik       | Remote laboratory mechatronics meningkatkan fleksibilitas belajar berbasis eksperimen      |
| Salmerón-Manzano & Manzano   | 2018  | Spanyol    | Studi kasus institusional      | Universitas Spanyol    | Virtual laboratory mendukung keberlanjutan pendidikan tinggi melalui efisiensi sumber daya |
| González et al.              | 2017  | Spanyol    | Prototipe teknis + evaluasi    | Mahasiswa engineering  | Arsitektur OPC memungkinkan integrasi sensor-kontroler untuk pembelajaran otomatisasi      |
| Chacón et al.                | 2018  | Brasil     | Action research berbasis IoT   | Mahasiswa sipil        | Pengembangan aplikasi IoT meningkatkan motivasi dan pemahaman teknik sipil mahasiswa       |
| Boltsi et al.                | 2024  | Yunani     | Survey berbasis literatur      | Pendidikan 4.0         | Digital tools dan AI mendominasi transformasi pembelajaran Engineering 4.0                 |
| Hu et al.                    | 2024  | Taiwan     | Quasi-eksperimen               | 25 siswa SD            | Robot + mainan mandiri dalam PBL meningkatkan sikap dan hasil belajar STEM                 |
| Vera et al.                  | 2024  | Spanyol    | Perancangan sistem             | Mahasiswa elektronika  | Framework fleksibel RRL efektif untuk praktikum digital electronics jarak jauh             |
| Ryalat et al.                | 2025  | Jordan     | Systematic review              | N/A                    | Robotics dalam pendidikan: tren AI, kolaborasi manusia-robot, dan tantangan skalabilitas   |
| Fruett et al.                | 2024  | Brasil     | Workshop hands-on              | 36 peserta Latinoware  | Open hardware BitDogLab + AI coding efektif untuk STEAM lintas jenjang pendidikan          |
| Bosch-Sijtsema et al.        | 2021  | Swedia     | Mixed methods                  | AEC professionals      | Digital tech (BIM, VR, drones) menunjukkan gap antara ekspektasi hype dan adopsi nyata     |
| Song et al.                  | 2019  | Hong Kong  | Quasi-eksperimen               | Mahasiswa teknik       | Latihan MATLAB berbasis active learning meningkatkan pemahaman konsep secara signifikan    |

**Tabel 8.** Analisis Komparatif: Dimensi Temuan, Kelebihan, Keterbatasan, dan Implikasi

| Variabel                 | Temuan                                                                       | Kelebihan                                                   | Keterbatasan                                                         | Implikasi                                                                                      |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pendekatan Pedagogis     | PBL dan hands-on learning mendominasi; VR dan remote lab sebagai pendukung   | Meningkatkan motivasi dan kompetensi praktis secara terukur | Ketergantungan infrastruktur; sulit direplikasi di negara berkembang | Perlu panduan implementasi kontekstual untuk TVET di negara berkembang                         |
| Teknologi Pembelajaran   | Robotics, VR, AR, IoT, dan AI terintegrasi dalam kurikulum engineering       | Memberikan pengalaman belajar immersif dan autentik         | Biaya tinggi; kesenjangan akses teknologi antar negara               | Perlu model pembiayaan alternatif dan platform open-source terjangkau                          |
| Konteks Institusional    | Dominan di pendidikan tinggi (universitas); TVET kurang terwakili            | Data kuat dari konteks universitas Western                  | Gap besar pada konteks TVET dan sekolah menengah kejuruan            | Urgensi penelitian TVET dan sekolah kejuruan sebagai unit analisis utama                       |
| Kolaborasi Internasional | AS, Spanyol, China, Meksiko mendominasi; Asia Tenggara dan Afrika marginal   | Jaringan kolaborasi kuat di antara negara maju              | Ketimpangan representasi Global South                                | Agenda inklusif untuk negara berkembang, khususnya Asia Tenggara                               |
| Metode Penelitian        | Mayoritas quasi-eksperimental dan review; studi longitudinal sangat terbatas | Memberikan bukti kausalitas awal yang memadai               | Kurangnya studi longitudinal dan mixed-methods yang komprehensif     | Perlu desain longitudinal untuk mengukur dampak jangka panjang robotika di laboratorium vokasi |

Tabel 8 menyajikan analisis komparatif yang mengintegrasikan dimensi temuan, kelebihan, keterbatasan, dan implikasi dari corpus literatur yang dikaji, guna memberikan pemetaan yang lebih kritis terhadap kondisi riset saat ini. Dari sisi pendekatan pedagogis, temuan menunjukkan bahwa project-based learning (PBL) dan hands-on learning menjadi metode yang paling dominan digunakan, dengan virtual reality dan remote laboratory berperan sebagai teknologi pendukung. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan motivasi dan kompetensi praktis peserta didik secara terukur, namun di balik capaian tersebut tersimpan persoalan mendasar berupa ketergantungan yang tinggi terhadap ketersediaan infrastruktur, sehingga model pembelajaran semacam ini menjadi sulit untuk direplikasi secara utuh di negara-negara berkembang dengan keterbatasan sumber daya. Kondisi ini pada akhirnya menegaskan perlunya panduan implementasi yang lebih kontekstual bagi TVET di negara berkembang, alih-alih sekadar mengadopsi model dari konteks negara maju secara mentah-mentah.

Sejalan dengan temuan pada aspek pedagogis, dimensi teknologi pembelajaran juga memperlihatkan pola integrasi yang cukup masif antara robotika, VR, AR, IoT, dan kecerdasan buatan ke dalam kurikulum pendidikan teknik, yang secara kolektif mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih immersif dan autentik bagi peserta didik. Akan tetapi, kemewahan teknologi ini bukan tanpa harga; tingginya biaya investasi serta kesenjangan akses teknologi antarnegara menjadi keterbatasan yang tidak dapat diabaikan begitu saja, terutama bagi institusi pendidikan vokasi di negara berkembang yang masih bergelut dengan keterbatasan anggaran. Oleh karena itu, agenda riset ke depan perlu lebih serius mengeksplorasi model pembiayaan alternatif serta pengembangan platform berbasis open-source yang lebih terjangkau, agar manfaat teknologi immersif ini tidak hanya dinikmati oleh institusi-institusi dengan sumber daya berlimpah semata.

Persoalan ketimpangan juga tampak jelas pada dimensi konteks institusional dan kolaborasi internasional. Data yang terhimpun menunjukkan bahwa literatur yang ada masih sangat didominasi oleh konteks pendidikan tinggi, khususnya universitas-universitas di negara-negara Barat, sementara representasi TVET dan sekolah menengah kejuruan justru tertinggal jauh di belakang. Kesenjangan ini semakin diperparah oleh pola kolaborasi internasional yang masih terpusat pada segelintir negara seperti Amerika Serikat, Spanyol, China, dan Meksiko, sementara kawasan Asia Tenggara dan Afrika hampir tidak terwakili secara signifikan dalam peta jaringan riset global tersebut. Kondisi ini mengonfirmasi adanya ketimpangan representasi Global South yang cukup mencolok, sehingga menjadi alasan kuat bagi mendesaknya penelitian yang secara eksplisit menjadikan TVET

dan sekolah kejuruan sebagai unit analisis utama, sekaligus mendorong terbentuknya agenda riset yang lebih inklusif bagi keterlibatan negara-negara berkembang, khususnya di kawasan Asia Tenggara.

Terakhir, dari sisi metodologi penelitian, mayoritas studi dalam corpus ini masih didominasi oleh desain quasi-eksperimental dan review literatur, yang meskipun mampu memberikan bukti kausalitas awal yang memadai, namun belum cukup untuk menangkap dinamika dampak pembelajaran berbasis teknologi dalam jangka waktu yang lebih panjang, mengingat studi longitudinal dan pendekatan mixed-methods yang komprehensif masih sangat terbatas jumlahnya. Kelima dimensi analisis ini, bila dirangkai secara utuh, sesungguhnya saling terkait satu sama lain dan membentuk satu benang merah yang konsisten, yaitu bahwa kemajuan teknologi pembelajaran dalam pendidikan teknik saat ini berjalan tidak merata, baik secara geografis, institusional, maupun metodologis. Dengan demikian, riset mendatang idealnya diarahkan untuk merancang desain penelitian longitudinal yang mampu mengukur dampak jangka panjang penerapan robotika dan teknologi immersif di laboratorium vokasi, sembari secara bersamaan menjembatani berbagai kesenjangan representasi yang selama ini masih menjadi catatan kritis dalam perkembangan bidang ini.

### **Diskusi Kritis: Implikasi Teoritis dan Praktis**

Sintesis temuan bibliometrik di atas menghasilkan beberapa argumen kritis yang perlu dibahas secara mendalam. Pertama, terdapat dominasi perspektif engineering education atas perspektif TVET yang menciptakan ketidakseimbangan struktural dalam bangunan pengetahuan global. Konsekuensinya, sebagian besar rekomendasi pedagogis yang muncul dari literatur ini termasuk penggunaan PBL, remote laboratory, dan VR secara implisit dirancang untuk konteks universitas dengan sumber daya tinggi, dan belum tentu dapat diimplementasikan secara langsung dalam konteks SMK atau lembaga pelatihan vokasi dengan keterbatasan infrastruktur dan kapasitas yang berbeda.

Kedua, akselerasi publikasi pada 2024–2025 yang sangat signifikan menunjukkan bahwa bidang ini sedang mengalami apa yang dalam sosiologi sains disebut sebagai 'tipping point' titik kritis di mana volume pengetahuan yang terakumulasi memicu percepatan generasi pengetahuan baru secara eksponensial. Ini adalah sinyal positif bagi pengembangan TVET global, namun juga menghadirkan tantangan kurasi dan sintesis yang semakin berat bagi praktisi dan pembuat kebijakan yang perlu mengabstraksi implikasi praktis dari gelombang publikasi yang terus meningkat.

Ketiga, absennya Asia Tenggara kecuali Malaysia dari inti jaringan penelitian global ini merupakan kekhawatiran yang serius. Kawasan ini memiliki beberapa karakteristik unik yang membuatnya menjadi konteks penelitian yang tidak hanya penting secara lokal, tetapi juga bernilai secara global: populasi muda yang besar, basis manufaktur yang sedang dalam transformasi cepat, sistem TVET yang beragam (dari formal ke informal), serta tantangan akses teknologi yang mencerminkan kondisi majority world. Mengisi gap ini bukan sekadar kepentingan regional ini adalah kontribusi pada universalitas pengetahuan tentang robotika dalam pendidikan vokasi.

### **Simpulan**

Penelitian ini telah menghasilkan peta bibliometrik yang komprehensif tentang implementasi pedagogis robotika dan otomatisasi di laboratorium pelatihan vokasi berdasarkan analisis terhadap 154 artikel jurnal Scopus periode 2017–2025. Beberapa temuan utama layak untuk disorot secara ringkas. Pertama, pertumbuhan publikasi menunjukkan akselerasi eksponensial yang dramatis pada 2024–2025, mengindikasikan bahwa bidang ini berada dalam fase perkembangan ilmiah yang pesat dan akan terus menghasilkan pengetahuan baru dalam volume yang semakin tinggi. Kedua, analisis kluster VOSviewer mengidentifikasi empat tema utama: engineering education-robotics sebagai inti, laboratorium jarak jauh dan virtual sebagai infrastruktur, PBL sebagai strategi pedagogis dominan, dan Industry 4.0-AI sebagai tema yang sedang berkembang pesat. Ketiga, terdapat gap struktural yang signifikan: dominasi konteks pendidikan tinggi atas TVET, dominasi negara maju atas negara berkembang, dan dominasi desain penelitian jangka pendek atas studi longitudinal. Kontribusi teoritis penelitian ini terletak pada identifikasi empat kluster tematik yang membentuk kerangka konseptual koheren untuk memahami evolusi pengetahuan tentang robotika-vokasi. Kontribusi praktisnya terletak pada penyediaan peta penelitian yang dapat digunakan oleh pengembang kurikulum TVET, pembuat kebijakan pendidikan, dan peneliti untuk mengidentifikasi peluang penelitian dan agenda pengembangan yang paling relevan. Keterbatasan penelitian ini mencakup penggunaan satu basis data (Scopus) yang mungkin melewatkan artikel dalam basis data Web of Science atau ERIC, serta pembatasan hanya pada artikel berbahasa Inggris yang dapat mengeksklusikan kontribusi penting dari peneliti berbahasa non-Inggris, termasuk dari kawasan Asia Tenggara. Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) mengembangkan tinjauan sistematis dengan meta-analisis terhadap studi eksperimental tentang efektivitas robotika dalam TVET; (2) melakukan studi longitudinal tentang

dampak robotika terhadap kesiapan kerja lulusan vokasi; dan (3) mengembangkan instrumen asesmen kompetensi robotika yang terstandarisasi dan kontekstualis untuk lembaga TVET di negara berkembang.

## Referensi

- Salah, B., Abidi, M. H., Mian, S. H., Krid, M., Alkhalefah, H., & Abdo, A. (2019). Virtual Reality-Based Engineering Education To Enhance Manufacturing Sustainability In Industry 4.0. *Sustainability*, 11(5), 1477. <https://doi.org/10.3390/Su11051477>
- Hernandez-De-Menendez, M., Escobar Díaz, C., & Morales-Menendez, R. (2020). Technologies For The Future Of Learning: State Of The Art. *International Journal On Interactive Design And Manufacturing*, 14(2), 683–695. <https://doi.org/10.1007/S12008-019-00640-0>
- Garduno-Aparicio, M., Rodriguez-Resendiz, J., Macias-Bobadilla, G., & Thenozhi, S. (2018). A Multidisciplinary Industrial Robot Approach For Teaching Mechatronics-Related Courses. *Ieee Transactions On Education*, 61(1), 61–68. <https://doi.org/10.1109/Te.2017.2741446>
- Pou, A. V., Canaletta, X., & Fonseca, D. (2022). Computational Thinking And Educational Robotics Integrated Into Project-Based Learning. *Sensors*, 22(10), 3746. <https://doi.org/10.3390/S22103746>
- Šulc, J., Bajči, B., Reljić, V., Milenković, I., Šešlija, D., & Dudić, S. (2018). Automatic Manipulator For Remote Measurement Of Linear Dimensions Development And Integration In Education Courses. *Computer Applications In Engineering Education*, 26(4), 947–958. <https://doi.org/10.1002/Cae.21939>
- Salmerón-Manzano, E., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). The Higher Education Sustainability Through Virtual Laboratories: The Spanish University As Case Of Study. *Sustainability*, 10(11), 4040. <https://doi.org/10.3390/Su10114040>
- González, I., Calderón, A. J., Barragán, A. J., & Andújar, J. M. (2017). Integration Of Sensors, Controllers And Instruments Using A Novel Opc Architecture. *Sensors*, 17(7), 1512. <https://doi.org/10.3390/S17071512>
- Chacón, R., Posada, H., Toledo, Á., & Gouveia, M. (2018). Development Of Iot Applications In Civil Engineering Classrooms Using Mobile Devices. *Computer Applications In Engineering Education*, 26(5), 1063–1072. <https://doi.org/10.1002/Cae.21985>
- Boltsi, A., Kalovrektis, K., Xenakis, A., Chatzimisios, P., & Chaikalis, C. (2024). Digital Tools, Technologies, And Learning Methodologies For Education 4.0 Frameworks: A Stem Oriented Survey. *Ieee Access*, 12, 14563–14579. <https://doi.org/10.1109/Access.2024.3355282>
- 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 And Information Technology*, 43(8), 1614–1635. <https://doi.org/10.1080/0144929x.2023.2222308>
- Vera, R. G., Galilea, J. L. L., Vicente, A. G., De-La-Llana-Calvo, A., & Munoz, I. B. (2024). A Flexible Framework For The Deployment Of Stem Real Remote Laboratories In Digital Electronics And Control Systems. *Ieee Access*, 12, 14563–14579. <https://doi.org/10.1109/Access.2024.3357991>
- Ryalat, M., Almtireen, N., Al-Refai, G., Elmoaqet, H., & Rawashdeh, N. (2025). Research And Education In Robotics: A Comprehensive Review, Trends, Challenges, And Future Directions. *Journal Of Sensor And Actuator Networks*, 14(4), 76. <https://doi.org/10.3390/Jsan14040076>
- Fruett, F., Pereira Barbosa, F., Cardoso Zampolli Fraga, S., & Ivo Aragao Guimaraes, P. (2024). Empowering Steam Activities With Artificial Intelligence And Open Hardware: The Bitdoglab. *Ieee Transactions On Education*, 67(3), 462–471. <https://doi.org/10.1109/Te.2024.3377555>
- Bosch-Sijtsema, P., Claeson-Jonsson, C., Johansson, M., & Roupe, M. (2021). The Hype Factor Of Digital Technologies In Aec. *Construction Innovation*, 21(1), 899–916. <https://doi.org/10.1108/Ci-01-2020-0002>
- Song, S. H., Antonelli, M., Fung, T. W. K., Armstrong, B. D., Chong, A., Lo, A., & Shi, B. E. (2019). Developing And Assessing Matlab Exercises For Active Concept Learning. *Ieee Transactions On Education*, 62(2), 105–113. <https://doi.org/10.1109/Te.2018.2811406>
- Dos Santos Lopes, M. S., Gomes, I. P., Trindade, R. M. P., Da Silva, A. F., & Lima, A. C. D. C. (2017). Web Environment For Programming And Control Of A Mobile Robot In A Remote Laboratory. *Ieee Transactions On Learning Technologies*, 10(1), 122–131. <https://doi.org/10.1109/Tlt.2016.2627565>
- Ortiz-Echeverri, C. J., Rodríguez-Reséndiz, J., & Garduño-Aparicio, M. (2018). An Approach To Stft And Cwt Learning Through Music Hands-On Labs. *Computer Applications In Engineering Education*, 26(5), 1199–1210. <https://doi.org/10.1002/Cae.21967>
- Badnjević, A., Gurbeta Pokvić, L., Hasičić, M., Bandić, L., Mašetić, Z., & Kovačević, Ž. (2019). Evidence-Based Clinical Engineering: Machine Learning Algorithms For Prediction Of Defibrillator Performance. *Biomedical Signal Processing And Control*, 54, 101629. <https://doi.org/10.1016/J.Bspc.2019.101629>

- Giannakos, M. N., Divitini, M., & Iversen, O. S. (2017). Entertainment, Engagement, And Education: Foundations And Developments In Digital And Physical Spaces To Support Learning Through Making. *Entertainment Computing*, 22, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.Entcom.2017.04.002>
- Patange, A. D., Bewoor, A. K., Deshmukh, S. P., Mulik, S. S., & Pardeshi, S. S. (2019). Improving Program Outcome Attainments Using Project Based Learning Approach For Ug Course Mechatronics. *Journal Of Engineering Education Transformations*, 32(3), 62–68.
- Bolkas, D., Chiampi, J., Chapman, J., & Pavill, V. F. (2020). Creating A Virtual Reality Environment With A Fusion Of Suas And Tls Point-Clouds. *International Journal Of Image And Data Fusion*, 11(1), 16–35. <https://doi.org/10.1080/19479832.2020.1716861>
- Lesage, J., Brennan, R., Eaton, S. E., Moya, B., Mcdermott, B., Wiens, J., & Herrero, K. (2024). Exploring Natural Language Processing In Mechanical Engineering Education: Implications For Academic Integrity. *International Journal Of Mechanical Engineering Education*, 52(1), 3–28. <https://doi.org/10.1177/03064190231166665>
- Ducr  e, J. (2019). Efficient Development Of Integrated Lab-On-A-Chip Systems Featuring Operational Robustness And Manufacturability. *Micromachines*, 10(12), 886. <https://doi.org/10.3390/Mi10120886>
- Katalinic, B., Kukushkin, I., Lantada, A. D., & Haber, P. (2021). Engineering Education For Industry 5.0: Challenges And Opportunities. In B. Katalinic (Ed.), *Proceedings Of The 32nd Daaam International Symposium* (Pp. 0421–0430). Daaam International Vienna.
- Guerrero-Osuna, H. A., Ornelas-Vargas, G., Sol  s-Sánchez, L. O., Castañeda-Miranda, V. H., Carrasco-Navarro, R., Olvera-Olvera, C. A., & Martínez-Méndez, R. (2022). Design And Implementation Of A Robotics Laboratory For Tvet Programs: A Case Study In Mexico. *International Journal Of Engineering Education*, 38(2), 521–533.
- Wang, J., Liu, Z., & Chen, X. (2023). Integrating Industrial Robot Programming Into Engineering Education: A Competency-Based Approach. *Computer Applications In Engineering Education*, 31(4), 1012–1025. <https://doi.org/10.1002/Cae.22624>
- Arias-Tapia, S. A., Casillas-Santill  n, L. A., Jad  n-Guerrero, J., & Guerrero, L. A. (2024). Robotics In Vocational Technical Schools: Challenges And Opportunities For Developing Countries. *Sustainability*, 16(3), 1024. <https://doi.org/10.3390/Su16031024>
- Fonseca, D., Álvarez, M., González-Mora, J. L., De Castro, C., & Mariani, P. (2023). Augmented Reality Applied To Engineering Education: Systematic Review (2012–2022). *Sensors*, 23(3), 1376. <https://doi.org/10.3390/S23031376>
- Cheah, S. M., & Li, S. (2018). Teaching Robotics With A Spiral Curriculum Approach In Higher Education. *International Journal Of Engineering Education*, 34(5), 1571–1582.
- Pi  a-Ramírez, O., Velázquez, R., & Hernández-Santos, C. (2022). Educational Robotics: Current Applications And Future Perspectives. *Education Sciences*, 12(7), 445. <https://doi.org/10.3390/Educsci12070445>
- Liu, X., Xu, J., & Li, Y. (2024). Artificial Intelligence-Assisted Engineering Education: Opportunities And Pedagogical Challenges. *Ieee Transactions On Education*, 67(2), 312–321. <https://doi.org/10.1109/Te.2024.3357112>
- Castañeda-Miranda, V. H., Carnero, M. C., & Alarc  n-Paredes, A. (2020). Iot-Based Monitoring System For Smart Vocational Training Laboratories. *Sensors*, 20(14), 3961. <https://doi.org/10.3390/S20143961>
- Dirmiki, G., Chatzopoulos, A., & Avouris, N. (2023). Designing Remote Laboratories For Vocational Education: A Systematic Approach. *International Journal Of Electrical Engineering And Education*, 60(2), 189–207. <https://doi.org/10.1177/0020720921995821>
- Perez-Poch, A., Sánchez-Carracedo, F., & Alier, M. (2023). Project-Based Learning With Robots: A Structured Review Of Pedagogical Outcomes. *Journal Of Technology And Science Education*, 13(1), 241–259. <https://doi.org/10.3926/Jotse.1659>
- Ioannou, A., & Makridou, E. (2018). Exploring The Potentials Of Educational Robotics In The Development Of Computational Thinking: A Summary Of Current Research And Practical Proposal For Future Work. *Education And Information Technologies*, 23(6), 2531–2544. <https://doi.org/10.1007/S10639-018-9729-Z>
- Kucuk, S., & Sisman, B. (2020). Students' Attitudes Towards Robotics And Stem: Differences Based On Gender And Robotics Experience. *International Journal Of Child-Computer Interaction*, 23–24, 100167. <https://doi.org/10.1016/J.Ijcci.2020.100167>
- Muslimin, M. S., Hashim, S., & Othman, W. (2023). Vocational Education And Industry 4.0: A Bibliometric Analysis Of Integration Challenges In Southeast Asia. *Journal Of Technical Education And Training*, 15(2), 1–18. <https://doi.org/10.30880/Jtet.2023.15.02.001>
- Darmawansah, D., Hwang, G.-J., Chen, M. R. A., & Liang, J.-C. (2023). Trends And Research Foci Of Robotics-Based Stem Education: A Systematic Review From Diverse Angles Based On The Technology-

- Based Learning Model. *International Journal Of Stem Education*, 10(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/S40594-023-00416-5>
- Çevik, M. (2018). Impacts Of The Project Based (Pbl) Science, Technology, Engineering And Mathematics (Stem) Education On Academic Achievement And Career Interests Of Vocational High School Students. *Pegem Journal Of Education And Instruction*, 8(2), 281–306. <https://doi.org/10.14527/Pegegog.2018.11>
- World Economic Forum. (2023). Future Of Jobs Report 2023. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-Tool For Comprehensive Science Mapping Analysis. *Journal Of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/J.Joi.2017.08.007>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software Survey: Vosviewer, A Computer Program For Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/S11192-009-0146-3>