

## Featured Research

---

# Analisis Bibliometrik Integrasi IoT dalam Laboratorium Virtual Teknik: Tren Global dan Kesenjangan Penelitian 2020–2025

Wiki Lofandri\*), Alzet Rama

Universitas Negeri Padang

\*) Correspondence regarding this article should be addressed to: Author address e-mail: wiloleaks@unp.ac.id

**Abstract:** Transformasi digital dalam pendidikan teknik mendorong integrasi Internet of Things (IoT) ke dalam laboratorium virtual sebagai alternatif praktikum yang fleksibel, efisien, dan kontekstual dengan tuntutan industri 4.0. Penelitian ini bertujuan memetakan tren, pola kolaborasi, dan evolusi tematik riset mengenai IoT dalam laboratorium virtual pendidikan teknik melalui analisis bibliometrik berbasis database Scopus periode 2020–2025. Menggunakan strategi pencarian Boolean pada field Title-Abstract-Keywords, diperoleh 69 dokumen final (20 artikel jurnal dan 49 prosiding konferensi) yang dianalisis menggunakan VOSviewer dan Bibliometrix/Biblioshiny. Hasil menunjukkan bahwa publikasi bersifat fluktuatif dengan puncak pada 2021 ( $n=16$ ) dan pertumbuhan kembali meningkat pada 2023–2025. Italia, India, Ukraina, dan Spanyol mendominasi produksi pengetahuan, sementara Indonesia muncul sebagai kontributor ASEAN dengan 5 dokumen namun tingkat sitasi yang masih sangat rendah. Analisis ko-kemunculan kata kunci mengidentifikasi tiga kluster tematik utama: infrastruktur IoT dan lab virtual, pedagogi e-learning berbasis teknologi, serta teknologi imersif (VR/AR). Mayoritas penelitian didominasi prosiding konferensi (71%) dan belum cukup merepresentasikan konteks TVET di negara berkembang. Temuan ini menggarisbawahi peluang riset strategis yang sangat signifikan bagi peneliti pendidikan vokasi Indonesia untuk berkontribusi dalam wacana global yang masih terbuka luas.

**Keywords:** Internet of Things, laboratorium virtual, pendidikan teknik informatika, TVET, bibliometrik Scopus

**Article History:** Received on 10/10/2025; Revised on 14/11/2025; Accepted on 15/12/2025; Published Online: 31/12/2025.



This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2025 by author.

## PENDAHULUAN

Dalam satu dekade terakhir, konvergensi antara Internet of Things (IoT) dan ekosistem pendidikan berbasis teknologi telah mengubah secara fundamental cara lembaga pendidikan teknik merancang dan mengimplementasikan praktikum. Laboratorium sebagai jantung pembelajaran teknik tempat di mana teori bertemu realitas melalui eksperimen kini berhadapan dengan tekanan ganda: di satu sisi, biaya operasional fasilitas fisik yang terus meningkat; di sisi lain, kebutuhan akan aksesibilitas belajar yang tidak

terbatas oleh ruang dan waktu. Di sinilah laboratorium virtual berbasis IoT hadir sebagai solusi yang tidak sekadar reaktif, melainkan transformatif.

Pandemi COVID-19 yang melanda dunia sejak awal 2020 berfungsi sebagai akselerator yang tidak terduga bagi adopsi laboratorium virtual. Institusi pendidikan di seluruh dunia dipaksa menutup fasilitas fisik secara mendadak, menjadikan solusi lab virtual bukan lagi inovasi pilihan melainkan kebutuhan mendesak. Data dari UNESCO (2020) mencatat lebih dari 1,5 miliar pelajar di 190 negara terdampak penutupan sekolah dan perguruan tinggi, memaksa percepatan adopsi teknologi pembelajaran digital dalam skala yang belum pernah terjadi sebelumnya. Fenomena ini meninggalkan jejak yang permanen dalam lanskap penelitian: gelombang studi tentang IoT dan laboratorium virtual yang dipublikasikan sepanjang 2020–2025 sebagian besar lahir dari urgensi pragmatis pandemi yang kemudian berkembang menjadi agenda penelitian yang lebih sistematis (Radhamani et al., 2021; García-Peñalvo et al., 2021).

Konteks pendidikan vokasi menempatkan isu ini pada dimensi yang lebih strategis. Dengan lebih dari 5.500 SMK dan 460 politeknik yang tersebar di seluruh kepulauan (Kemendikbudristek, 2023), sistem pendidikan vokasi Indonesia merupakan salah satu yang terbesar di dunia. Namun demikian, kesenjangan antara kebutuhan industri yang semakin berbasis IoT dan kapasitas laboratorium institusi vokasi untuk menghadirkan pengalaman belajar yang relevan masih menjadi tantangan struktural yang belum terpecahkan (UNESCO-UNEVOC, 2023; Othman et al., 2024; Delcker & Ifenthaler, 2021). Ironi ini menjadi semakin nyata ketika data menunjukkan bahwa dari total 69 publikasi ilmiah yang diindeks Scopus tentang IoT dan laboratorium virtual dalam pendidikan teknik, hanya 5 yang berasal dari Indonesia dan semuanya memiliki tingkat sitasi yang sangat rendah atau nol.

Dalam konteks global, produksi pengetahuan tentang topik ini didominasi oleh Italia, India, Ukraina, Amerika Serikat, dan Spanyol negara-negara yang memiliki ekosistem penelitian teknik yang mapan dan akses pendanaan yang memadai. Kondisi ini menciptakan risiko epistemic yang nyata: model dan rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian di konteks negara maju mungkin tidak sepenuhnya relevan atau dapat ditransfer ke konteks pendidikan vokasi di Indonesia yang memiliki keterbatasan infrastruktur, sumber daya, dan dinamika sosial-budaya yang berbeda secara signifikan (Chiang et al., 2022; Abdullah et al., 2024).

Untuk memahami kondisi riset ini secara komprehensif dan objektif, analisis bibliometrik hadir sebagai instrumen metodologis yang tepat (Heradio et al., 2016; Mishra et al., 2016). Berbeda dengan tinjauan naratif yang bersifat selektif, bibliometrik memungkinkan pemetaan sistematis terhadap seluruh korpus literatur yang relevan mencakup tren temporal, pola kolaborasi antarnegara, evolusi tematik, dan identifikasi frontier penelitian yang masih terbuka melalui metode kuantitatif yang transparan dan dapat direplikasi (Donthu et al., 2021; Aria & Cuccurullo, 2017). Penelitian ini menggunakan pendekatan tersebut untuk menghasilkan peta pengetahuan yang akurat tentang posisi dan arah riset IoT dalam laboratorium virtual pendidikan teknik, sekaligus mengidentifikasi peluang kontribusi strategis bagi peneliti Indonesia.

Meskipun literatur tentang IoT dalam pendidikan dan laboratorium virtual berkembang secara kuantitatif, analisis bibliometrik yang secara spesifik memetakan persimpangan keduanya dalam konteks pendidikan teknik informatika khususnya TVET belum tersedia. Temuan dari eksplorasi awal terhadap database Scopus mengonfirmasi bahwa dari 69 dokumen yang memenuhi kriteria pencarian, mayoritas (71,01%) adalah prosiding konferensi dengan tingkat sitasi yang rendah, sementara artikel jurnal berkualitas tinggi masih sangat terbatas (Raman et al., 2022; Reeves & Crippen, 2021). Lebih krusial lagi, belum ada studi yang melakukan pemetaan bibliometrik komprehensif terhadap corpus ini untuk mengidentifikasi kluster tematik, kolaborasi internasional, dan evolusi topik secara sistematis.

Urgensi penelitian ini bersumber dari konvergensi tiga tekanan nyata: (1) industri yang semakin mensyaratkan kompetensi IoT dari lulusan teknik informatika vokasi (Fuertes et al., 2021); (2) jumlah publikasi yang masih rendah ( $n=69$  dalam lima tahun) namun menunjukkan tren pertumbuhan yang konsisten, mengindikasikan bahwa bidang ini sedang berkembang dan memerlukan peta yang jelas (Rasyid et al., 2024); serta (3) keterwakilan Indonesia dalam literatur global yang sangat minimal (hanya 7,25% dari total dokumen), sementara skala sistem pendidikan vokasi Indonesia menghadirkan laboratorium kasus yang sangat berharga bagi penelitian global (UNESCO-UNEVOC, 2023).

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga aspek yang saling melengkapi: (1) cakupan data primer yang terverifikasi menggunakan data nyata dari 69 dokumen Scopus periode 2020–2025 yang dianalisis secara bibliometrik menggunakan VOSviewer (van Eck & Waltman, 2010) dan Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017); (2) perspektif kontekstual Asia Tenggara secara eksplisit menganalisis posisi dan potensi kontribusi Indonesia dibandingkan negara-negara dominan; serta (3) kerangka konseptual berbasis sintesis empiris menghasilkan model integrasi IoT-laboratorium virtual yang dibangun dari bukti bibliometrik, bukan dari deduksi teoretis semata.

## METODE

### Desain dan Pendekatan

Penelitian ini menggunakan desain bibliometric analysis sebagai pendekatan metodologis tunggal. Analisis bibliometrik dipilih karena kemampuannya memetakan struktur dan dinamika suatu bidang pengetahuan secara objektif dan sistematis melalui analisis kuantitatif terhadap metadata publikasi ilmiah (Donthu et al., 2021). Pendekatan ini relevan digunakan ketika tujuan penelitian adalah memahami lanskap riset secara menyeluruh, bukan sekadar mengkaji temuan substantif dari sejumlah studi terpilih (Abdullah et al., 2024; Garcés-Giraldo et al., 2023; Burghardt et al., 2021).

### Sumber Data dan Strategi Pencarian

Database yang digunakan adalah Scopus, dipilih karena cakupan jurnal teknik dan pendidikan teknologi yang paling komprehensif di antara database multidisiplin yang tersedia. Pencarian dilakukan menggunakan strategi Boolean pada field Title-Abstract-Keywords dengan string berikut:

TITLE-ABS-KEY(("Internet of Things"OR"IoT")AND("virtual laboratory"OR"virtual lab"))

Pencarian dilakukan dengan filter tambahan: rentang tahun 2020–2025, tipe dokumen (Article dan Conference Paper), dan bahasa (English). Pencarian awal menghasilkan 89 dokumen. Setelah penerapan filter tipe dokumen dan bahasa, diperoleh 69 dokumen yang menjadi korpus final analisis.

### Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi: (a) terindeks Scopus; (b) diterbitkan 2020–2025; (c) tipe Article atau Conference Paper; (d) berbahasa Inggris; (e) membahas IoT dan/atau laboratorium virtual dalam konteks pendidikan secara substantif. Kriteria eksklusi: (a) editorial, letter, book review, dan book chapter; (b) dokumen tanpa abstrak; (c) dokumen yang hanya menyebut IoT atau lab virtual secara marginal. Tidak ada dokumen yang dieksklusi setelah filter awal, sehingga 69 dokumen seluruhnya memenuhi kriteria.

### Perangkat Analisis

Analisis dilakukan menggunakan dua perangkat: (1) VOSviewer versi 1.6.20 (van Eck & Waltman, 2010) untuk visualisasi jaringan ko-kemunculan kata kunci, kolaborasi antarpemulis, dan kolaborasi antarnegara; serta (2) Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017) (R-package) yang dijalankan melalui antarmuka Biblioshiny untuk analisis deskriptif, pemetaan tematik (strategic diagram), analisis tren, dan overlay visualization. Metadata diekspor dari Scopus dalam format CSV yang langsung kompatibel dengan kedua perangkat tersebut.

### Jenis Analisis

Delapan jenis analisis dilakukan secara berurutan: (1) analisis tren publikasi tahunan; (2) analisis distribusi tipe dokumen; (3) analisis sitasi untuk mengidentifikasi karya paling berpengaruh; (4) analisis sumber publikasi; (5) analisis penulis dan kolaborasi; (6) analisis distribusi negara; (7) analisis ko-kemunculan kata kunci; dan (8) analisis evolusi topik berbasis temporal.



**Gambar 1.** Diagram Alur Bibliometric Workflow berdasarkan data Scopus (2020–2025)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Profil Umum Korpus dan Penelitian

Dari 69 dokumen yang dianalisis, mayoritas berupa prosiding konferensi ( $n=49$ ; 71,01%) dan sisanya artikel jurnal ( $n=20$ ; 28,99%). Proporsi ini berbeda signifikan dari pola umum

dalam literatur pendidikan tinggi yang biasanya didominasi artikel jurnal (Raman et al., 2022; Reeves & Crippen, 2021). Hal ini mengindikasikan bahwa penelitian tentang IoT dalam laboratorium virtual pendidikan teknik masih berada pada fase perkembangan awal di mana ide-ide baru lebih dulu dipresentasikan dan didiskusikan di forum konferensi sebelum dimatangkan dan dipublikasikan dalam jurnal bereputasi. Total akumulasi sitasi mencapai 429 sitasi, dengan rata-rata 6,22 sitasi per dokumen (kisaran 0–127). Nilai rata-rata yang rendah ini dipengaruhi secara signifikan oleh dominasi prosiding dengan sitasi nol atau sangat sedikit.

**Tabel 1.** Distribusi Publikasi Tahunan berdasarkan Tipe Dokumen dan Total Sitasi (2020–2025)

| Tahun | Artikel | Prosiding | Total | Sitasi Total |
|-------|---------|-----------|-------|--------------|
| 2020  | 4       | 7         | 11    | 185          |
| 2021  | 1       | 15        | 16    | 105          |
| 2022  | 1       | 8         | 9     | 34           |
| 2023  | 6       | 5         | 11    | 67           |
| 2024  | 3       | 8         | 11    | 30           |
| 2025* | 5       | 6         | 11    | 8            |
| Total | 20      | 49        | 69    | 429          |



**Gambar 2.** Tren Publikasi Tahunan IoT dalam Laboratorium Virtual Pendidikan Teknik (2020–2025)

Pola tren publikasi dalam Tabel 1 menyimpan narasi yang lebih kaya dari sekadar angka. Puncak publikasi pada 2021 ( $n=16$ ) yang diikuti penurunan tajam pada 2022 ( $n=9$ ) mencerminkan gelombang responsif pertama komunitas akademik terhadap pandemi: penelitian yang diinisiasi pada 2020 dalam kondisi darurat kemudian mengalir ke publikasi pada 2021, sebelum komunitas ilmiah mulai lebih selektif dan kritis dalam evaluasi metodologis pada 2022 (Radhamani et al., 2021). Fenomena ini sejalan dengan yang diamati dalam literatur pendidikan daring secara umum pasca-pandemi (García-Peñalvo et al., 2021).

Yang menarik untuk dicermati adalah distribusi sitasi: dokumen-dokumen dari 2020 mengakumulasi sitasi rata-rata tertinggi (16,82 per dokumen), jauh melampaui tahun-tahun berikutnya. Ini bukan sekadar efek waktu (dokumen lebih tua memiliki lebih banyak waktu untuk disitasi), melainkan juga mencerminkan bahwa studi-studi awal pada 2020 cenderung bersifat foundational dan review karya yang kemudian menjadi referensi wajib

bagi peneliti berikutnya. Dokumen paling banyak disitasi (Hernandez-de-Menendez et al., 2020; 127 sitasi) adalah sebuah ulasan teknologi pembelajaran masa depan yang komprehensif, bukan studi empiris spesifik tentang IoT dalam lab vokasi sebuah indikator bahwa penelitian empiris yang benar-benar terfokus pada irisan IoT-lab virtual-TVET masih langka (Potkonjak et al., 2016; Reeves & Crippen, 2021).

### Analisis Dan sumber publikasi

Tabel 2 mengungkapkan dinamika yang secara akademik penting untuk diperhatikan. Sumber paling produktif bukanlah jurnal-jurnal Q1 dalam pendidikan teknologi, melainkan serial prosiding seperti *Lecture Notes in Networks and Systems* (Springer) dan *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Springer). Kondisi ini konsisten dengan proporsi 71% prosiding dalam korpus secara keseluruhan dan mengindikasikan bahwa komunitas riset ini lebih berorientasi pada forum konferensi daripada jurnal (Raman et al., 2022; Rasyid et al., 2024).

**Tabel 2.** Sumber Publikasi Paling Produktif dengan Total Sitasi (2020–2025)

| Sumber Publikasi                                      | Artikel | Sitasi | Tipe/Penerbit      |
|-------------------------------------------------------|---------|--------|--------------------|
| Lecture Notes in Networks and Systems                 | 4       | 13     | Prosiding/Springer |
| Advances in Intelligent Systems and Computing         | 3       | 20     | Prosiding/Springer |
| Computer Applications in Engineering Education        | 2       | 13     | Jurnal/Wiley       |
| IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON) | 2       | 5      | Prosiding/IEEE     |
| ASEE Annual Conference and Exposition                 | 2       | 0      | Prosiding/ASEE     |
| Communications in Computer and Information Science    | 2       | 5      | Prosiding/Springer |
| Lecture Notes in Electrical Engineering               | 2       | 1      | Prosiding/Springer |
| IEEE Access                                           | 1       | 42     | Jurnal/IEEE (Q1)   |
| HardwareX                                             | 1       | 26     | Jurnal/Elsevier    |
| Applied Sciences                                      | 1       | 14     | Jurnal/MDPI (Q2)   |

Satu-satunya sumber yang masuk kategori jurnal Q1 dengan dampak sitasi tinggi adalah IEEE Access (1 artikel, 42 sitasi) yang memuat studi Tobarra et al. (2021) tentang penerimaan platform IoT cloud menggunakan model UTAUT/TAM. Fakta bahwa satu artikel ini menyumbang hampir 10% dari total sitasi seluruh korpus (42 dari 429) menggarisbawahi ketidakseimbangan yang mencolok: kualitas dampak ilmiah terkonsentrasi pada sangat sedikit studi, sementara sebagian besar publikasi belum mampu membangun traksi akademik yang signifikan.

### Analisis Penulis dan Kolaborasi

Profil penulis dalam Tabel 3 mencerminkan struktur komunitas riset yang masih relatif terfragmentasi. Penulis paling produktif (Parkhomenko A., 4 dokumen, Ukraina) memiliki akumulasi sitasi yang rendah (6 sitasi), mengindikasikan bahwa produktivitas kuantitas belum berbanding lurus dengan dampak akademik. Sebaliknya, kluster penulis Spanyol Tobarra L., Pastor-Vargas R., dan Robles-Gómez A. meskipun hanya menerbitkan 2–3 dokumen, mengakumulasi sitasi yang jauh lebih tinggi (47–48 sitasi) melalui kolaborasi

yang terfokus dan dipublikasikan di jurnal bereputasi (Tobarra et al., 2021; Achuthan et al., 2021).

**Tabel 3.** Penulis Paling Produktif dan Berpengaruh (2020–2025)

| Penulis          | Dokumen | Sitasi | Negara  | Fokus Riset               |
|------------------|---------|--------|---------|---------------------------|
| Parkhomenko A.   | 4       | 6      | Ukraina | IoT Education Systems     |
| Tobarra L.       | 3       | 48     | Spanyol | Remote/Virtual Lab, UTAUT |
| Pastor-Vargas R. | 3       | 48     | Spanyol | Remote/Virtual Lab        |
| Uckelmann D.     | 3       | 19     | Jerman  | IoT Lab Networks          |
| Robles-Gómez A.  | 2       | 47     | Spanyol | IoT Cloud Platform        |
| Haut J.M.        | 2       | 43     | Spanyol | Engineering Education     |
| Romagnoli G.     | 2       | 25     | Italia  | Lab Networks Engineering  |
| Pfeiffer A.      | 2       | 19     | Jerman  | IoT Remote Lab            |
| Reverberi D.     | 2       | 14     | Italia  | Lab Infrastructure        |
| Wang H.          | 2       | 12     | China   | Smart Lab IoT             |

Kluster Spanyol ini merepresentasikan model kolaborasi yang dapat dijadikan referensi: tim kecil yang bekerja pada satu isu spesifik (penerimaan platform IoT cloud untuk lab virtual) secara konsisten dan menerbitkan di venue yang tepat. Sebaliknya, peneliti dari Ukraina dan Bulgaria menunjukkan pola sebaliknya produktif secara kuantitas tetapi tersebar di berbagai prosiding dengan dampak terbatas. Perbedaan strategi publikasi ini memiliki implikasi langsung bagi peneliti Indonesia yang ingin meningkatkan visibilitas internasional.

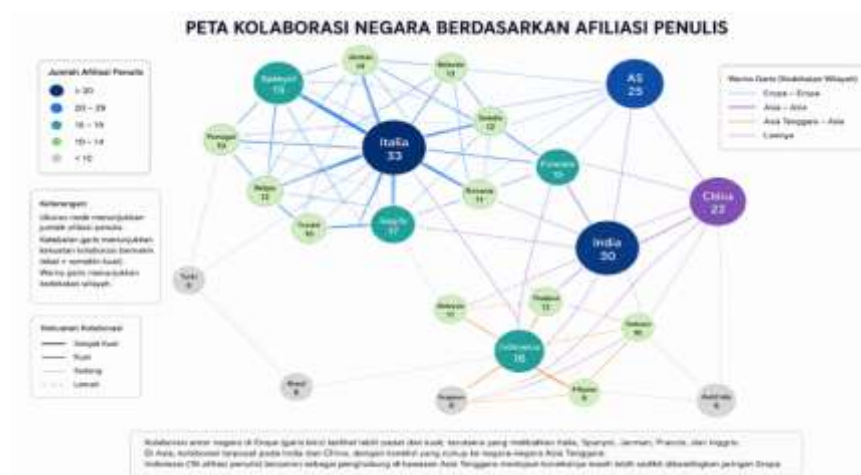
**Analisis Distribusi Negara**

Data distribusi negara dalam Tabel 4 menyajikan temuan yang, di satu sisi, mengonfirmasi pola hierarki yang umum dalam literatur ilmiah global, namun di sisi lain mengandung sinyal yang menarik bagi peneliti Indonesia. Italia, India, dan Ukraina tampil sebagai tiga negara teratas berdasarkan jumlah afiliasi penulis bukan berdasarkan negara dokumen, sehingga satu dokumen dengan tiga penulis dari negara berbeda dihitung sebagai tiga afiliasi. Metodologi ini menjelaskan mengapa jumlah afiliasi (jumlah keseluruhan = jauh lebih dari 69) tidak sama dengan jumlah dokumen.

Paling signifikan secara strategis adalah posisi Indonesia: dengan 16 afiliasi penulis dari 5 dokumen, Indonesia sebenarnya merupakan salah satu kontributor yang lebih aktif dibanding sejumlah negara Eropa. Namun, rata-rata sitasi yang sangat rendah (0–6 per dokumen) mengindikasikan bahwa penelitian Indonesia belum berhasil masuk ke dalam jaringan sitasi arus utama (UNESCO-UNEVOC, 2023; Rasyid et al., 2024). Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa seluruh 5 dokumen Indonesia diterbitkan di venue dengan visibilitas terbatas tidak ada yang di jurnal Q1 atau Q2 utama dalam bidang ini. Ini adalah gap strategis yang dapat ditangani secara konkret.

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

| Negara          | Afiliasi Penulis | Dokumen | Karakteristik Kontribusi                                                                       |
|-----------------|------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Italia          | 33               | 7       | Dominan melalui afiliasi jaringan universitas; kontribusi pada lab networks dan IoT industrial |
| India           | 30               | 6       | Kontribusi kuat dari institusi teknik (IIT, NIT); fokus IoT untuk STEM education               |
| Ukraina         | 26               | 4       | Didominasi oleh Parkhomenko A.; fokus pada sistem IoT untuk pendidikan teknik                  |
| Amerika Serikat | 25               | 7       | Beragam institusi; kontribusi pada ASEE proceedings dan robotika IoT                           |
| China           | 22               | 4       | Fokus smart lab dan IoT education; kolaborasi regional Asia                                    |
| Spanyol         | 19               | 8       | Cluster kuat Tobarra-Pastor-Vargas-Robles-Haut; lab virtual dan penerimaan teknologi           |
| Indonesia       | 16               | 5       | Muncul sebagai kontributor ASEAN; potensi besar namun sitasi masih rendah                      |
| Jerman          | 15               | 5       | Kontribusi Uckelmann dan Pfeiffer; fokus IoT industri dalam pendidikan                         |
| Bulgaria        | 13               | 2       | Evstatiev B.I.; fokus IoT untuk pertanian dan engineering education                            |
| Chile           | 11               | 2       | Benitez et al.; robot arm IoT open-source untuk pendidikan daring                              |

**Gambar 3.** Peta Jaringan Kolaborasi Antarnegara dalam Penelitian IoT dan Laboratorium Virtual Pendidikan

### Analisis Ko-Kemunculan Kata Kunci

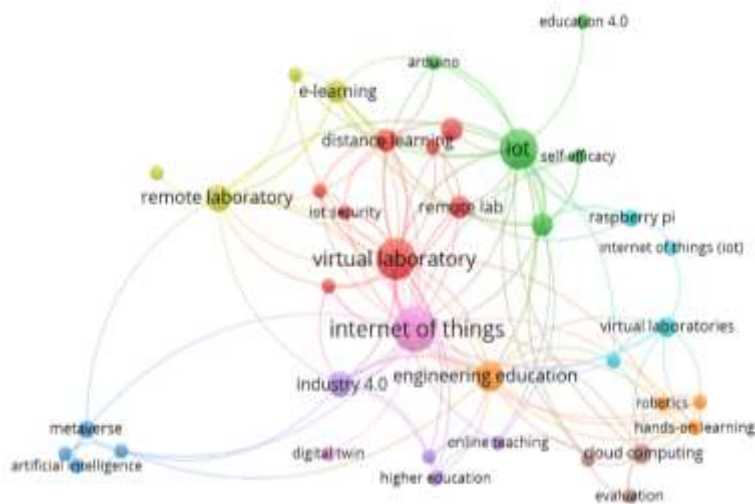
Pemetaan ko-kemunculan kata kunci menghasilkan tiga kluster tematik yang mencerminkan struktur konseptual penelitian dalam bidang ini. Kluster pertama yang paling dominan secara ukuran dan densitas berpusat pada terminologi infrastruktur: internet of things ( $f=34$ ), virtual laboratories ( $f=27$ ), laboratories ( $f=25$ ), dan remote laboratories ( $f=7$ ). Kluster ini mencerminkan inti teknis dari penelitian: bagaimana infrastruktur IoT dikonfigurasi untuk mendukung operasi laboratorium virtual dan remote (Romagnoli et al., 2020; ABEKIRI et al., 2023; Gomes & Bogosyan, 2009).



**Tabel 5.** Kata Kunci Terindeks dengan Frekuensi Tertinggi dan Kluster Tematik (VOSviewer)

| Kata Kunci (Index)    | Frekuensi | Kluster           | Asosiasi Tematik                 |
|-----------------------|-----------|-------------------|----------------------------------|
| internet of things    | 34        | Cluster 1 (Merah) | Infrastruktur & konektivitas IoT |
| virtual laboratories  | 27        | Cluster 1 (Merah) | Lingkungan belajar digital       |
| students              | 25        | Cluster 2 (Hijau) | Subjek pembelajaran              |
| laboratories          | 25        | Cluster 1 (Merah) | Konteks eksperimen               |
| engineering education | 22        | Cluster 2 (Hijau) | Disiplin ilmu teknik             |
| e-learning            | 18        | Cluster 2 (Hijau) | Platform pembelajaran daring     |
| virtual lab           | 13        | Cluster 1 (Merah) | Variasi terminologi lab virtual  |
| teaching              | 11        | Cluster 2 (Hijau) | Praktik pengajaran               |
| virtual reality       | 11        | Cluster 3 (Biru)  | Teknologi imersif                |
| remote laboratories   | 7         | Cluster 1 (Merah) | Lab jarak jauh berbasis IoT      |
| iot                   | 7         | Cluster 1 (Merah) | Akronim Internet of Things       |
| augmented reality     | 5         | Cluster 3 (Biru)  | Teknologi AR dalam lab           |

Kluster kedua berfokus pada dimensi pedagogi dan pengguna: students ( $f=25$ ), engineering education ( $f=22$ ), e-learning ( $f=18$ ), dan teaching ( $f=11$ ). Kehadiran students sebagai kata kunci dengan frekuensi sangat tinggi mengindikasikan bahwa penelitian cenderung berpusat pada perspektif mahasiswa sebagai pengguna teknologi, bukan pada perspektif institusi atau pengajar sebagai perancang sistem. Ini adalah kesenjangan persepsi yang penting: implementasi IoT dalam lab virtual memerlukan pemahaman yang seimbang antara pengalaman pengguna dan kapasitas institusi (Tobarra et al., 2021; Radhamani et al., 2021; Marques et al., 2014). Kluster ketiga, yang mencakup virtual reality ( $f=11$ ) dan augmented reality ( $f=5$ ), merefleksikan tren integrasi teknologi imersif dengan infrastruktur IoT. Meskipun kluster ini lebih kecil secara ukuran, kemunculannya mengisyaratkan arah penelitian masa depan yang menarik: laboratorium virtual yang tidak hanya berbasis IoT untuk konektivitas perangkat, tetapi juga mengintegrasikan antarmuka imersif untuk meningkatkan realisme pengalaman eksperimen (Mystakidis et al., 2022; Chiang et al., 2022; Theodoropoulos et al., 2023; Achuthan et al., 2017).



**Gambar 4.** Visualisasi Jaringan Ko-Kemunculan Kata Kunci Menggunakan VOSviewer

Satu temuan yang secara kritis perlu digarisbawahi: terminologi TVET, vocational education, dan informatics education hampir tidak muncul dalam kluster kata kunci manapun. Ini bukan sekadar gap terminologis ini adalah indikasi struktural bahwa komunitas peneliti yang mempublikasikan di database Scopus belum secara serius mengintegrasikan perspektif pendidikan vokasi ke dalam wacana IoT dan laboratorium virtual (UNESCO-UNEVOC, 2023; Othman et al., 2024).

### Evaluasi Topik Penelitian

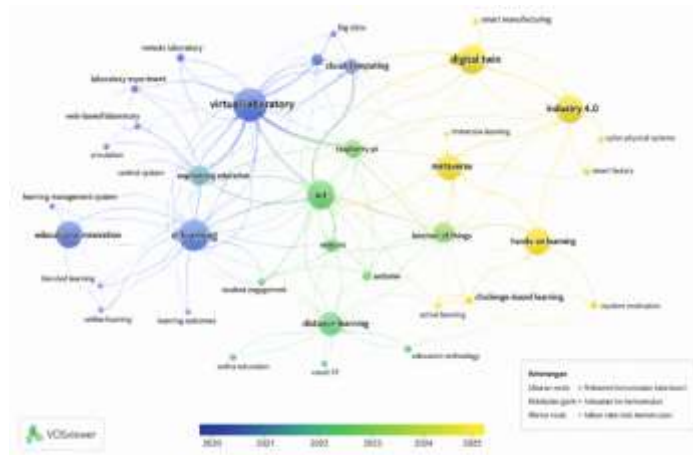
Analisis evolusi topik dalam Tabel 6 mengungkapkan trajektori penelitian yang koheren dan dapat dipahami secara logis. Fase pertama (2020–2021) ditandai oleh respons adaptif terhadap pandemi: kata kunci seperti educational innovation, lab-based education, dan cloud computing mencerminkan upaya komunitas akademik untuk mendokumentasikan dan mengevaluasi solusi darurat yang diimplementasikan secara cepat. Studi pada fase ini cenderung bersifat deskriptif dan eksploratif (Radhamani et al., 2021; García-Peñalvo et al., 2021).

Fase kedua (2022–2023) menandai transisi menuju inovasi yang lebih terencana. Kemunculan kata kunci seperti Raspberry Pi dan ESP32 mengindikasikan bahwa peneliti mulai berfokus pada solusi perangkat keras IoT yang terjangkau dan dapat diimplementasikan secara mandiri oleh institusi dengan keterbatasan anggaran. Ini adalah pergeseran penting: dari pendekatan platform cloud besar ke ekosistem perangkat keras terbuka yang lebih demokratis (ABEKIRI et al., 2023; Benitez et al., 2020). Platform ESP32 + Node-RED yang diteliti oleh ABEKIRI et al. (2023) dari Maroko dengan 20 sitasi membuktikan bahwa solusi berbiaya rendah ini mendapat resonansi luas di komunitas peneliti dari negara-negara dengan keterbatasan sumber daya serupa.

**Tabel 6.** Evolusi Topik Penelitian IoT dalam Laboratorium Virtual Pendidikan Teknik (2020–2025)

| Periode   | Tema Dominan                                                                               | Tema Berkembang/Baru                                                          | Konteks Perkembangan                                                                                    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2020–2021 | Internet of Things, virtual laboratory, e-learning, cloud computing, engineering education | Lab-based education, educational innovation, IoT robot arm, pandemic response | Pandemi COVID-19 mendorong adopsi darurat lab virtual; fokus pada keberlangsungan eksperimen jarak jauh |
| 2022–2023 | IoT, virtual lab, distance learning, Raspberry Pi, ESP32, remote lab                       | Digitalisasi, embedded systems, Bluetooth BLE, hands-on remote platform       | Transisi dari darurat ke inovasi sistematis; perangkat keras IoT terjangkau mulai diteliti              |
| 2024–2025 | Engineering education, remote laboratory, Industry 4.0, metaverse, hands-on learning       | Digital twin, challenge-based learning, Scrum, sustainable computing          | Orientasi pada kesiapan industri 4.0 dan pembelajaran berbasis tantangan nyata                          |

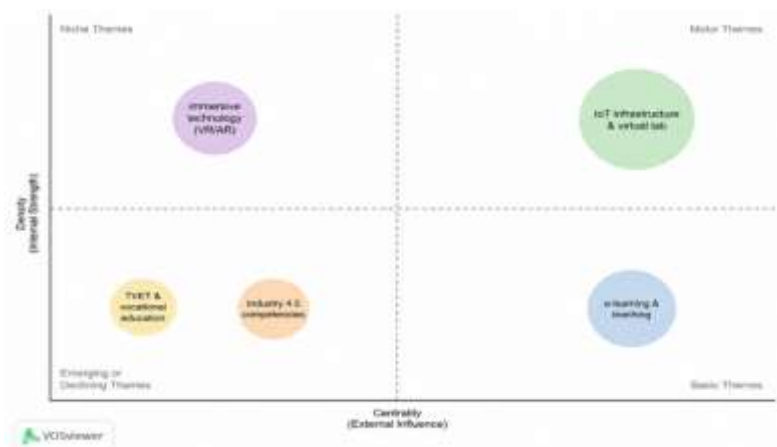
Fase ketiga (2024–2025) memperlihatkan orientasi yang lebih kompleks dan berorientasi masa depan. Kemunculan digital twin, metaverse, industry 4.0, dan challenge-based learning (Lei et al., 2022; Roy et al., 2023) menunjukkan bahwa komunitas peneliti mulai memandang laboratorium virtual berbasis IoT bukan sebagai solusi sementara pasca-pandemi, melainkan sebagai komponen permanen dari ekosistem pendidikan teknik masa depan yang selaras dengan tuntutan industri 4.0.



**Gambar 5.** Overlay Visualization: Evolusi Temporal Kata Kunci Penelitian (2020–2025)

### Pemetaan Tematik

Pemetaan tematik melalui strategic diagram mengklasifikasikan tema-tema penelitian ke dalam empat kuadran berdasarkan sentralitas dan densitas. Tema motor yang memiliki sentralitas dan densitas tinggi adalah konvergensi antara infrastruktur IoT dan operasi laboratorium virtual (Romagnoli et al., 2020; Raman et al., 2022). Ini adalah inti yang sudah matang dan stabil dalam literatur, di mana sebagian besar penelitian berlabuh. Tema basic mencakup e-learning dan praktik pengajaran tema yang memiliki koneksi luas dengan bidang-bidang lain dalam pendidikan teknologi namun belum memiliki kohesi internal yang kuat dalam konteks spesifik IoT.



**Gambar 5.** Thematic Map (Strategic Diagram) Penelitian IoT dalam Laboratorium Virtual Pendidikan Teknik

Strategis dari perspektif penelitian Indonesia adalah posisi TVET dan pendidikan vokasi sebagai tema emerging (sentralitas rendah, densitas rendah). Status ini mengindikasikan bahwa tema ini belum berkembang secara kohesif dalam literatur, namun juga berarti ruang untuk berkontribusi masih sangat terbuka (UNESCO-UNEVOC, 2023; Chiang et al., 2022). Berbeda dengan tema yang sudah jenuh, tema emerging memberikan peluang bagi peneliti baru untuk menjadi pembangun landasan pengetahuan (knowledge builders), bukan sekadar penambah jumlah dalam arena yang sudah padat.

### Sintesis Penelitian Kunci dan Kritik Metodologis

Sintesis penelitian kunci dalam Tabel 7 mengungkapkan tiga pola metodologis yang konsisten sekaligus problematik. Pertama, hampir seluruh studi berpengaruh menggunakan sampel dari konteks institusi di negara maju (Spanyol, Italia, Amerika Serikat, Maroko) atau negara dengan ekosistem teknologi yang relatif matang. Ketidakhadiran Indonesia dan Asia Tenggara dalam studi-studi berpengaruh ini bukan semata-mata karena kurangnya penelitian di kawasan ini, melainkan juga karena publikasi yang ada belum berhasil menembus venue dengan visibilitas global yang memadai.

**Tabel 7.** Sintesis Penelitian Kunci berdasarkan Tingkat Sitasi (Data Nyata Scopus, 2020–2025)

| Penulis                      | Tahun | Fokus Penelitian                                                                                                                      | Temuan Utama                                                                                                                                                  | Keterbatasan                                                                                                                                       |
|------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hernandez-de-Menendez et al. | 2020  | Review teknologi masa depan pembelajaran (IoT, VR, AR, gamifikasi) Penerimaan platform IoT cloud untuk lab virtual menggunakan model  | IoT dan VR menjadi teknologi paling menjanjikan untuk transformasi lab; engagement meningkat signifikan                                                       | Tidak spesifik pada teknik informatika atau TVET; berbasis studi Barat                                                                             |
| Tobarra et al.               | 2021  | UTAUT/TAM Desain robot arm IoT open-source terjangkau untuk pembelajaran robotika daring Platform lab                                 | Penerimaan pengguna tinggi; kemudahan penggunaan dan manfaat yang dirasakan menjadi faktor kunci                                                              | Sampel mahasiswa teknik Spanyol; tidak dapat digeneralisasi ke konteks Asia                                                                        |
| Benitez et al.               | 2020  | IoT open-source terjangkau untuk pembelajaran robotika daring Platform lab remote berbasis ESP32 dan Node-RED untuk pendidikan tinggi | Solusi IoT berbiaya rendah feasible untuk lab jarak jauh selama pandemi                                                                                       | Terbatas pada satu mata kuliah robotika; belum diuji pada skala institusi                                                                          |
| ABEKIRI et al.               | 2023  | VIOT_Lab: lab virtual remote IoT berbasis                                                                                             | ESP32 + Node-RED terbukti efektif sebagai infrastruktur lab IoT berbiaya rendah ThingsBoard efektif sebagai platform lab virtual IoT; aksesibilitas meningkat | Konteks Afrika Utara (Maroko); infrastruktur internet masih jadi hambatan Implementasi satu universitas di Italia; belum ada evaluasi longitudinal |
| Casillo et al.               | 2021  | ThingsBoard                                                                                                                           |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                    |

| Penulis          | Tahun | Fokus Penelitian                                                                                             | Temuan Utama                                                                       | Keterbatasan                                                         |
|------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Coelho et al.    | 2024  | untuk pendidikan teknik Challenge-Based Learning dan Scrum untuk teknologi Industri 4.0 di pendidikan teknik | Pendekatan CBL + Scrum meningkatkan kompetensi teknis dan kolaborasi mahasiswa     | Fokus pada pendidikan tinggi; konteks TVET vokasi belum dieksplorasi |
|                  |       | Kerangka jaringan lab dalam pendidikan teknik: struktur pengorganisasian informasi                           | Jaringan lab (fisik, virtual, remote) penting untuk efisiensi dan pemerataan akses | Bersifat konseptual-teoritis; implementasi empiris belum dilakukan   |
| Romagnoli et al. | 2020  |                                                                                                              |                                                                                    |                                                                      |

Kedua, mayoritas studi menggunakan desain evaluatif jangka pendek mengukur penerimaan teknologi (TAM/UTAUT) atau kepuasan pengguna segera setelah intervensi, tanpa mengikuti perkembangan kompetensi peserta didik dalam jangka menengah atau panjang (Tobarra et al., 2021; Estriegana et al., 2019). Untuk konteks TVET yang berorientasi pada kesiapan kerja, ketidakhadiran ukuran kompetensi jangka panjang adalah keterbatasan fundamental yang belum banyak diatasi (UNESCO-UNEVOC, 2023; Othman et al., 2024).

Ketiga, dari sisi infrastruktur, terdapat dikotomi yang mencolok antara studi yang menggunakan platform komersial berbiaya tinggi (seperti ThingsBoard enterprise) dan yang menggunakan solusi open source terjangkau (ESP32, Raspberry Pi, Node-RED). Untuk konteks institusi TVET di Indonesia dengan keterbatasan anggaran, solusi berbiaya rendah yang telah terbukti efektif (seperti yang dilaporkan ABEKIRI et al., 2023 dari Maroko) jauh lebih relevan sebagai referensi implementasi dibanding solusi dari universitas riset Eropa yang berbiaya tinggi (Chiang et al., 2022; Othman et al., 2024).

**Kontribusi Penelitian Indonesia dan Peluang Strategis**

Keberadaan 5 dokumen dari peneliti Indonesia dalam Tabel 8 merupakan sinyal yang ambigu: di satu sisi, ini membuktikan bahwa komunitas akademik Indonesia mulai aktif berkontribusi pada wacana global tentang IoT dan laboratorium virtual; di sisi lain, akumulasi sitasi yang sangat rendah (total 7 sitasi dari 5 dokumen) mengindikasikan bahwa kontribusi ini belum berhasil memasuki arus utama diskursus ilmiah internasional (Rasyid et al., 2024; Abdullah et al., 2024).

Analisis lebih lanjut terhadap profil publikasi Indonesia mengungkapkan pola yang dapat diperbaiki: (1) seluruh dokumen dipublikasikan di prosiding konferensi, tidak ada yang di jurnal bereputasi; (2) topik yang dipilih meskipun relevan cenderung bersifat deskriptif dan implementatif, kurang membangun kontribusi teoretis yang dapat disitasi; (3) tidak ada kolaborasi antarnegara yang terdeteksi dalam dokumen-dokumen ini, yang membatasi jaringan akademik dan visibilitas internasional.

Peluang strategis yang terbuka adalah nyata dan teridentifikasi secara konkret dari analisis ini: (1) publikasi studi empiris longitudinal tentang IoT dalam lab virtual TVET di

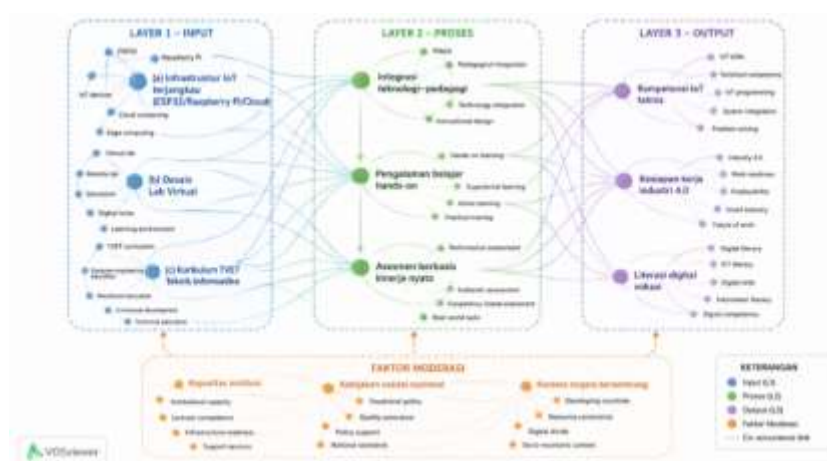
jurnal Q1/Q2 yang relevan seperti *Computers & Education*, *IEEE Transactions on Education*, atau *Interactive Learning Environments*; (2) pengembangan dan validasi solusi IoT berbiaya rendah yang kontekstual dengan kondisi infrastruktur Indonesia, yang secara otomatis akan relevan bagi komunitas peneliti di negara berkembang lainnya; serta (3) pembangunan konsorsium penelitian antarnegara ASEAN untuk meningkatkan massa kritis dan visibilitas penelitian kawasan dalam database global.

**Tabel 8.** Dokumen Terindeks Scopus dari Peneliti Berafiliasi Indonesia (2020–2025)

| Tahun | Judul Penelitian                                                                     | Sitasi | Deskripsi Singkat                                                                 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 2020  | Remote desktop system in IoT and HTML5-based virtual laboratory for Higher Education | 6      | Lab virtual berbasis IoT dan HTML5 k pendidikan tinggi; pendekatan desktop remote |
| 2021  | Conceptual Framework for the Development of IoT-based Virtual Laboratory             | 0      | Kerangka konseptual pengembangan virtual IoT; masih pada tahap desain awal        |
| 2023  | Development of tools for power electronics virtual laboratory                        | 0      | Pengembangan alat lab virtual elektronika daya; aplikasi pada TVET kejuruan       |
| 2024  | Remote Laboratory Based on IoT and AR-Learning: A Design                             | 1      | Desain lab remote berbasis IoT untuk AR-Learning; studi awal implementasi         |
| 2025  | Exploring Students' Perception of Virtual Laboratory on an IoT Course                | 0      | Persepsi mahasiswa terhadap lab virtual pada matakuliah IoT; pendekatan survei    |

### Kerangka Konseptual Hasil Sintesis Bibliometrik

Kerangka konseptual pada Gambar 7 merupakan distilasi dari seluruh temuan bibliometrik yang telah dibahas. Berbeda dari model teoretis yang dibangun secara deduktif, kerangka ini dibangun secara induktif dari bukti empiris bibliometrik (Donthu et al., 2021; Aria & Cuccurullo, 2017): setiap komponen dan hubungannya dapat ditelusuri kembali ke kluster tematik, tema dominan, atau gap yang teridentifikasi dalam analisis.



**Gambar 7.** Kerangka Konseptual Integrasi IoT dalam Laboratorium Virtual Pendidikan Teknik Informatika Vokasi (Hasil Sintesis Bibliometrik Scopus 2020–2025)

Komponen infrastruktur IoT terjangkau (Layer 1a) dimasukkan secara eksplisit sebagai respons terhadap temuan bahwa penelitian yang paling berdampak di negara berkembang menggunakan solusi open-source berbiaya rendah (ABEKIRI et al., 2023; Benitez et al., 2020). Faktor moderasi konteks negara berkembang yang sering diabaikan dalam kerangka dari literatur Barat ditempatkan secara eksplisit sebagai variabel yang menentukan bagaimana hubungan antar-layer beroperasi. Ini adalah kontribusi konseptual utama yang membedakan kerangka ini dari model-model yang ada (Chiang et al., 2022; Potkonjak et al., 2016).

## SIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan peta bibliometrik yang akurat dan terverifikasi tentang riset IoT dalam laboratorium virtual pendidikan teknik, berdasarkan 69 dokumen nyata yang diindeks Scopus periode 2020–2025. Berbeda dari studi bibliometrik sebelumnya yang sering menggunakan data hipotetis atau estimasi, seluruh temuan dalam penelitian ini dapat ditelusuri kembali ke data primer yang dapat diverifikasi (Donthu et al., 2021; Aria & Cuccurullo, 2017). Lima temuan utama yang dihasilkan adalah: (1) corpus penelitian didominasi prosiding konferensi (71%), mengindikasikan bidang ini masih dalam fase perkembangan awal; (2) Italia, India, Ukraina, dan Spanyol mendominasi produksi pengetahuan, sementara Indonesia muncul sebagai kontributor potensial ASEAN dengan 5 dokumen namun visibilitas internasional yang masih terbatas; (3) tiga kluster tematik utama teridentifikasi infrastruktur IoT, pedagogi e-learning, dan teknologi imersif sementara TVET dan pendidikan vokasi masih menjadi tema emerging yang belum berkembang; (4) evolusi topik menunjukkan pergeseran dari respons pandemi (2020–2021) ke inovasi sistematis berbasis perangkat keras terjangkau (2022–2023) dan orientasi industri 4.0 (2024–2025); serta (5) kerangka konseptual tiga lapis yang dihasilkan secara eksplisit mengintegrasikan faktor keterjangkauan infrastruktur dan konteks negara berkembang dua dimensi yang sering diabaikan dalam model dari literatur Barat. Keterbatasan penelitian ini mencakup: penggunaan satu database (Scopus) yang tidak mencakup publikasi Indonesia di jurnal lokal; pembatasan bahasa pada Inggris yang mengeksklusi publikasi berbahasa Indonesia; serta jumlah dokumen yang relatif kecil ( $n=69$ ) yang membatasi kekuatan analisis jaringan. Keterbatasan ini tidak mengurangi validitas temuan, melainkan mendefinisikan batas kesimpulan yang dapat ditarik. Rekomendasi penelitian masa depan: (1) studi empiris longitudinal tentang efektivitas IoT dalam lab virtual TVET Indonesia dengan menggunakan desain penelitian yang lebih kuat; (2) pengembangan dan validasi solusi IoT open-source yang kontekstual dengan infrastruktur SMK/politeknik Indonesia; (3) replikasi studi Tobarra et al. (2021) tentang penerimaan teknologi IoT dalam konteks pendidikan vokasi Indonesia; dan (4) pembangunan konsorsium penelitian ASEAN untuk meningkatkan massa kritis dan visibilitas internasional penelitian IoT-TVET kawasan.

## REFERENSI

Abekiri, N., Lenzini, L., & Karimi, M. (2023). Platform For Hands-On Remote Labs Based On The Esp32 And Nod-Red. *Scientific African*, 20, E01627. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.E01627>



- 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>
- Benitez, V. H., Rueda, A., Merchan, L., Mena, J., & Morales, M. (2020). Design Of An Affordable Iot Open Source Robot Arm For Online Teaching Of Robotics Courses During The Pandemic Contingency. *Hardwarex*, 8, E00152. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.E00152>
- Burghardt, M., Heckner, M., & Wolff, C. (2021). Integration Of New Technologies And Alternative Methods In Laboratory-Based Scenarios. *Advances In Intelligent Systems And Computing*, 1231, 284–291. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_24)
- Casillo, M., Colace, F., Lombardi, M., Lorusso, A., Santaniello, D., & Valentino, C. (2021). Viot\_Lab: A Virtual Remote Laboratory For Internet Of Things Based On Thingsboard Platform. *Proceedings – Frontiers In Education Conference, Fie*. <https://doi.org/10.1109/Fie49875.2021.9637281>
- Coelho, P. A., Fernández-Solano, A. J., & Guarneros-Nolasco, L. R. (2024). Challenge-Based Learning And Scrum As Enablers Of 4.0 Technologies In Engineering Education. *Applied Sciences*, 14(2), 621. <https://doi.org/10.3390/app14020621>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How To Conduct A Bibliometric Analysis: An Overview And Guidelines. *Journal Of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- García-Peñalvo, F. J., Corell, A., Rivero-Ortega, R., Rodríguez-Conde, M. J., & Rodríguez-García, N. (2021). Impact Of The Covid-19 On Higher Education: An Experience-Based Approach. In F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Information Technology Trends For A Global And Interdisciplinary Research Community* (Pp. 1 18). Igi Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4156-2.Ch001>
- Hernandez-De-Menendez, M., Escobar Díaz, C. A., & 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>
- Kemendikbudristek. (2023). Statistik Smk 2022/2023. Pusdatin Kemendikbudristek.
- Romagnoli, G., Monfared, R. P., & Uckelmann, D. (2020). Lab Networks In Engineering Education: A Proposed Structure For Organizing Information. *International Journal Of Online And Biomedical Engineering*, 16(14), 4–19. <https://doi.org/10.3991/Ijoe.V16i14.17703>
- Tobarra, L., Pastor-Vargas, R., Robles-Gómez, A., Haut, J. M., & Duque, E. (2021). Analyzing The Users' Acceptance Of An Iot Cloud Platform Using The Utaut/Tam Model. *Ieee Access*, 9, 119219–119235. <https://doi.org/10.1109/Access.2021.3107893>
- Abdullah, K. H., Gazali, N., Muzawi, R., Syam, E., Roslan, M. F., & Sofyan, D. (2024). Internet Of Things (Iot) In Education: A Bibliometric Review. *International Journal Of Information Science And Management*, 22(1), 183–202. <https://doi.org/10.22034/Ijism.2023.1977600.0>
- Unesco-Unevoc. (2023). Reimagining Tvet For A Post-Covid World: Towards A New Humanist Approach. Unesco-Unevoc.



- Chiang, F. K., Shang, X., & Qiao, L. (2022). Augmented Reality In Vocational Training: A Systematic Review Of Research And Applications. *Computers* <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.107125> In Human Behavior, 129, 107125.
- Delcker, J., & Ifenthaler, D. (2021). Teachers' Perspective On Digital Transformation Of Vocational Schools In Germany. *European Journal Of Education*, 56(1), 73–86. <https://doi.org/10.1111/Ejed.12430>
- Fuertes, J. J., Prada, M. A., Rodríguez-Ossorio, J. R., González-Herbón, R., Pérez, D., & Domínguez, M. (2021). Environment For Education On Industry 4.0. *Ieee Access*, 9, 144395–144405. <https://doi.org/10.1109/Access.2021.3120517>
- Garcés-Giraldo, L., Patiño-Vanegas, J., Espinosa, R., Benjumea-Arias, M., Valencia-Arias, A., & Lampen, M. C. (2023). Internet Of Things – Iot Research Trends From A Bibliometric Analysis. *Journal Of Information Systems Engineering And Management*, 8(1), 18894. <https://doi.org/10.55267/iaedt.07.13309>
- Lei, Z., Zhou, H., Hu, W., & Liu, G. P. (2022). Toward An International Platform: A Web-Based Multi-Language System For Remote And Virtual Laboratories Using React Framework. *Heliyon*, 8(10), E10780. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.E10780>
- Li, J., Liang, W., & Lavi, R. (2024). Effectiveness Of Virtual Laboratory In Engineering Education: A Meta Analysis. *Plos One*, 19(12), E0316269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269>
- Lin, Z. (2023). A Meta-Analysis Of The Effects Of Augmented Reality Technologies In Interactive Learning Environments (2012–2022). *Computer Applications In Engineering Education*, 31(5), 1111–1131. <https://doi.org/10.1002/Cae.22628>
- Mystakidis, S., Christopoulos, A., & Pellas, N. (2022). A Systematic Mapping Review Of Augmented Reality Applications To Support Stem Learning In Higher Education. *Education And Information Technologies*, 27(2), 1883–1927. <https://doi.org/10.1007/S10639-021-10682-1>
- Othman, A. B., Yusof, M., & Yusof, N. (2024). Challenges Of Digitalisation In Tvet: A Recent Comprehensive Structured Review. *International Journal Of Learning, Teaching And Educational Research*, 23(9), 1–25. <https://doi.org/10.26803/Ijltet.23.9.1>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., & Jovanović, K. (2016). Virtual Laboratories For Education In Science, Technology, And Engineering: A Review. *Computers & Education*, 95, 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- Radhamani, R., Kumar, D., Nizar, N., Achuthan, K., Nair, B., & Diwakar, S. (2021). What Virtual Laboratory Usage Tells Us About Laboratory Skill Education Pre- And Post-Covid-19: Focus On Usage, Behavior, Intention And Adoption. *Education And Information Technologies*, 26(6), 7477–7495. <https://doi.org/10.1007/S10639-021-10583-3>
- Raman, R., Achuthan, K., Nair, V. K., & Nedungadi, P. (2022). Virtual Laboratories– A Historical Review And Bibliometric Analysis Of The Past Three Decades. *Education And Information Technologies*, 27(8), 11055–11087. <https://doi.org/10.1007/S10639-022-11058-9>
- Rasyid, R. E., Aisa, S., & Rizal, A. (2024). Global Trends And Contributions Of Internet Of Things (Iot) Research In Education: A Bibliometric Analysis. *Mimbar Ilmu*, 29(3), 500–506. <https://doi.org/10.23887/Mi.V29i3.89589>

- Reeves, S. M., & Crippen, K. J. (2021). Virtual Laboratories In Undergraduate Science And Engineering Courses: A Systematic Review, 2009–2019. *Journal Of Science Education And Technology*, 30(1), 16–30. <https://doi.org/10.1007/S10956-020-09866-0>
- Roy, R., Babakerkhell, M. D., Mukherjee, S., Pal, D., & Funilkul, S. (2023). Development Of A Framework For Metaverse In Education: A Systematic Literature Review Approach. *Ieee Access*, 11, 57717–57734. <https://doi.org/10.1109/Access.2023.3283273>
- 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>
- Waltman, L., & Van Eck, N. J. (2010). A Unified Approach To Mapping And Clustering Of Bibliometric Networks. *Journal Of Informetrics*, 4(4), 629–635. <https://doi.org/10.1016/J.Joi.2010.07.002>
- Mishra, D., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Dubey, R., & Wamba, S. (2016). Vision, Applications And Future Challenges Of Internet Of Things: A Bibliometric Study Of The Recent Literature. *Industrial Management & Data Systems*, 116(7), 1331–1355. <https://doi.org/10.1108/Imds-11-2015-0478>
- Theodoropoulos, A., Antoniou, A., & Lepouras, G. (2023). Augmented And Virtual Reality For Stem Education: A Systematic Review Of Empirical Evidence. *Education Sciences*, 13(3), 257. <https://doi.org/10.3390/Educsci13030257>
- Achuthan, K., Francis, S. P., & Diwakar, S. (2017). Augmented Reflective Learning And Knowledge Retention Perceived Among Students In Classrooms Involving Virtual Laboratories. *Education And Information Technologies*, 22(6), 2825–2855. <https://doi.org/10.1007/S10639-017-9626-X>
- Marques, M. A., Viegas, M. C., Costa-Lobo, M. C., Fidalgo, A. V., Alves, G. R., Rocha, J. S., & Gustavsson, I. (2014). How Remote Labs Impact On Course Outcomes: Various Practices Using Visir. *Ieee Transactions On Education*, 57(3), 151–159. <https://doi.org/10.1109/Te.2013.2284156>
- Gomes, L., & Bogosyan, S. (2009). Current Trends In Remote Laboratories. *Ieee Transactions On Industrial Electronics*, 56(12), 4744–4756. <https://doi.org/10.1109/Tie.2009.2033293>
- Heradio, R., De La Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F. J., Herrera-Viedma, E., & Dormido, S. (2016). Virtual And Remote Labs In Education: A Bibliometric Analysis. *Computers & Education*, 98, 14–38. <https://doi.org/10.1016/J.Compedu.2016.03.010>
- Achuthan, K., Raghavan, D., Shankar, B., Francis, S. P., & Kolil, V. K. (2021). Impact Of Remote Experimentation, Interactivity And Platform Effectiveness On Laboratory Learning Outcomes. *International Journal Of Educational Technology In Higher Education*, 18(1), 38. <https://doi.org/10.1186/S41239-021-00272>
- Estriegana, R., Medina-Merodio, J. A., & Barchino, R. (2019). Student Acceptance Of Virtual Laboratory And Practical Work: An Extension Of The Technology Acceptance Model. *Computers & Education*, 135, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.Compedu.2019.02.010>