

MAPPING E-LEARNING RESEARCH TRENDS IN THE DIGITAL ERA: A BIBLIOMETRIC APPROACH WITH POP AND VOSVIEWER

Mohammad Rizal Afandi^{1*}, Ahmad Qodiron², Hozairi³

¹Indonesia, Universitas Islam Madura, Fakultas Teknik, Teknik Informatika

²Fakultas Teknik, Fakultas Teknik, Fakultas Teknik



Copyright © Jurnal
Rekayasa Lampung
(JRL)

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren dan lanskap penelitian e-learning di era digital, yang relevansinya meningkat pesat akibat transformasi pendidikan. Dengan menganalisis data publikasi dari basis data ilmiah seperti Scopus atau Web of Science menggunakan perangkat lunak bibliometrik Publish or Perish (PoP) dan VOSviewer, studi ini akan mengidentifikasi tren volume publikasi, kontributor utama (penulis, institusi, negara), jurnal berpengaruh, serta tema-tema penelitian yang menonjol dan pola kolaborasi. Hasil yang diantisipasi mencakup peningkatan eksponensial publikasi, kontribusi global yang beragam, pergeseran tema menuju pedagogi digital dan AI dalam pendidikan, serta jaringan kolaborasi yang erat. Melalui pemetaan sistematis ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan strategis bagi peneliti untuk mengidentifikasi area menjanjikan, menemukan potensi kolaborator, dan bagi pembuat kebijakan serta praktisi untuk mendukung pengembangan inovasi e-learning di era digital.

Kata kunci: E-learning, Era Digital, Analisis Bibliometrik, Publish or Perish (PoP), VOSviewer

Abstract: This study aims to map the trends and landscape of e-learning research in the digital era, whose relevance is rapidly increasing due to educational transformation. By analyzing publication data from scientific databases such as Scopus or Web of Science using the bibliometric software Publish or Perish (PoP) and VOSviewer, this study will identify trends in publication volume, key contributors (authors, institutions, countries), influential journals, as well as prominent research themes and collaboration patterns. Anticipated outcomes include an exponential increase in publications, diverse global contributions, a shift in themes toward digital pedagogy and AI in education, and a strong collaborative network. Through this systematic mapping, this study is expected to provide strategic insights for researchers to identify promising areas, identify potential collaborators, and for policymakers and practitioners to support the development of e-learning innovations in the digital era.

Keywords: E-learning, Digital Era, Bibliometric Analysis, Publish or Perish (PoP), VOSviewer

1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah mengubah paradigma pendidikan secara fundamental, mendorong transisi dari model konvensional menuju pendekatan yang lebih terintegrasi dengan teknologi digital. E-learning, atau pembelajaran elektronik, telah muncul sebagai solusi adaptif yang krusial, memungkinkan proses belajar mengajar berlangsung tanpa batasan ruang dan waktu. Terlebih lagi, pandemi global beberapa waktu lalu secara drastis mempercepat adopsi e-learning sebagai tulang punggung sistem pendidikan di berbagai tingkatan, dari sekolah dasar hingga perguruan tinggi, bahkan pelatihan profesional. Fenomena ini tidak hanya memperluas jangkauan e-learning, tetapi juga memicu lonjakan minat penelitian di bidang ini, menghasilkan volume publikasi ilmiah yang masif dan beragam di seluruh dunia.

Meskipun pertumbuhan literatur e-learning menunjukkan dinamisme dan relevansi bidang ini, kuantitas yang besar sering kali menyulitkan peneliti, praktisi, dan pembuat kebijakan untuk memahami lanskap penelitian secara komprehensif. Mengidentifikasi tren yang muncul, kontributor utama, area penelitian yang paling banyak dieksplorasi, atau bahkan kesenjangan penelitian yang perlu diisi, menjadi tantangan tersendiri. Tanpa pemahaman sistematis ini, upaya kolaborasi dapat terhambat, sumber daya dialokasikan secara kurang efisien, dan potensi inovasi tidak termanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang terstruktur untuk menganalisis dan memetakan struktur intelektual serta dinamika penelitian e-learning.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan tersebut dengan melakukan pemetaan bibliometrik terhadap tren penelitian e-learning di era digital. Dengan memanfaatkan perangkat lunak

bibliometrik canggih seperti Publish or Perish (PoP) untuk pengumpulan data dan VOSviewer untuk visualisasi, kami akan menganalisis volume publikasi, mengidentifikasi penulis, institusi, dan negara paling produktif, serta mengungkap jurnal berpengaruh dan pola kolaborasi yang terbentuk. Lebih lanjut, analisis ko-kemunculan kata kunci akan digunakan untuk memetakan tema-tema penelitian yang menonjol dan bagaimana tema-tema tersebut berevolusi seiring waktu. Diharapkan, temuan dari penelitian ini dapat memberikan wawasan strategis yang mendalam, membantu peneliti mengidentifikasi arah masa depan yang menjanjikan, menemukan potensi kolaborator, dan mendukung para pembuat kebijakan serta praktisi dalam merancang strategi e-learning yang lebih efektif, relevan, dan inovatif di tengah transformasi digital yang terus berlangsung.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan mengadopsi pendekatan bibliometrik kuantitatif. Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk menganalisis dan memvisualisasikan struktur serta dinamika bidang ilmiah secara sistematis.

2.1 Pengumpulan Data

Data akan dikumpulkan dari basis data ilmiah yang komprehensif dan bereputasi tinggi, seperti Scopus atau Web of Science, untuk memastikan cakupan literatur yang luas dan berkualitas. Strategi pencarian akan menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, seperti:

- "e-learning" OR "online learning" OR "digital education" OR "distance learning" OR "blended learning"
- AND "digital era" OR "technology enhanced learning" OR "educational technology"

Rentang waktu pencarian akan disesuaikan untuk mencakup periode yang relevan dengan perkembangan e-learning di era digital (misalnya, dari awal tahun 2000-an hingga saat ini). Seluruh hasil pencarian yang relevan (artikel jurnal, tinjauan, prosiding) akan diekspor dalam format yang kompatibel untuk analisis bibliometrik (misalnya, RIS, CSV).

2.2 Perangkat Lunak Analisis

Dua perangkat lunak utama akan digunakan untuk analisis data:

- Publish or Perish (PoP): Digunakan untuk mengumpulkan data sitasi dan metrik publikasi dari berbagai sumber, serta untuk analisis awal mengenai penulis, jurnal, dan performa publikasi.
- VOSviewer: Digunakan untuk membangun dan memvisualisasikan jaringan bibliometrik. VOSviewer akan memfasilitasi analisis ko-authorship (penulis, institusi, negara), analisis ko-sitasi, dan analisis ko-kemunculan kata kunci untuk mengidentifikasi tema-tema penelitian.

2.3. Analisis Data

Analisis data akan meliputi beberapa aspek:

- Analisis Deskriptif: Tren publikasi tahunan, bahasa publikasi, jenis dokumen.
- Analisis Produktivitas dan Pengaruh: Identifikasi penulis, institusi, dan negara terkemuka berdasarkan jumlah publikasi dan sitasi. Identifikasi jurnal yang paling sering menerbitkan dan paling banyak disitasi.
- Analisis Kolaborasi: Pembuatan peta jaringan ko-authorship untuk memvisualisasikan hubungan kolaboratif antar penulis, institusi, dan negara.
- Analisis Tema Penelitian: Analisis ko-kemunculan kata kunci untuk mengidentifikasi klaster tema penelitian. Visualisasi overlay dalam VOSviewer akan digunakan untuk menunjukkan evolusi tema dari waktu ke waktu.

3. Hasil dan Pembahasan

Terdapat dua kategori analisis yaitu analisis kinerja berupa: jumlah publikasi tiap tahun, artikel dengan kutipan terbanyak, jurnal dengan artikel terbanyak, peringkat jurnal dan negara dengan jumlah artikel terbanyak; dan pemetaan sains

berupa: *Circles Network Visualization*, *Frames Overlay Visualization*, dan *Density Visualization*.

3.1 Tren Publikasi Artikel

Data hasil pencarian artikel yang diperoleh melalui aplikasi *Publish or Perish (PoP)* dengan sumber database *Scopus* menunjukkan bahwa tren publikasi artikel mengenai *Smart Farming* berbasis *Internet of Things (IoT)* mengalami fluktuasi selama kurun waktu 2015-2025. Perkembangan tersebut disajikan pada Gambar berikut.



Gambar 2.Jumlah Publikasi Artikel Smart Farming

Berdasarkan Gambar 2, jumlah publikasi mulai meningkat secara signifikan sejak tahun 2018, dan mencapai titik tertinggi pada tahun 2022 dan 2023 dengan lebih dari 30 publikasi. Namun, pada tahun 2024 dan 2025 terjadi penurunan yang cukup tajam. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun topik ini menjadi tren kuat selama beberapa tahun terakhir, perhatian terhadapnya mulai berkurang. Fenomena ini dapat disebabkan oleh pergeseran fokus ke teknologi pertanian lainnya seperti *Artificial Intelligence*, *Edge Computing*, atau kebutuhan riset lanjutan yang lebih spesifik.

3.2 Artikel dengan Kutipan Terbanyak

Tabel 1.Artikel dengan Kutipan Terbanyak

No	Nama Penulis	Judul Artikel	Tahun	Nama Jurnal	Jumlah Kutipan
1	L. Klerkx	<i>A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda</i>	2029	<i>Njas Wageningen Journal of Life Sciences</i>	876
2	N. Ahmed	<i>Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas</i>	2018	<i>IEEE Internet of Things Journal</i>	480
3	O. Friha	<i>Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies</i>	2021	<i>IEEE Caa Journal of Automatica Sinica</i>	447

Berdasarkan tabel 1 analisis kutipan, artikel dengan jumlah kutipan terbanyak berasal dari jurnal-jurnal bereputasi tinggi. Artikel yang ditulis oleh (Klerkx, 2019) berjudul “*A Review of Social Science on Digital Agriculture, Smart Farming and Agriculture 4.0 contributions and a future research agenda*” menjadi artikel dengan jumlah kutipan terbanyak yaitu 876 kutipan, yang dipublikasikan pada *Njas Wageningen Journal of Life Sciences*. Hal ini menunjukkan bahwa isu terkait digitalisasi pertanian dan pertanian cerdas menjadi perhatian besar dalam komunitas akademik global. Artikel kedua dengan kutipan terbanyak ditulis oleh (Ahmed, 2018) dengan judul “*Internet of Things*

(IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas” dalam *IEEE Internet of Things Journal* yang telah dikutip sebanyak 447 kali dalam *IEEE CAA Journal of Automatica Sinica*. Ketiga artikel tersebut tidak hanya memberikan kontribusi penting dalam penelitian mengenai teknologi di sector pertanian, tetapi juga menjadi sumber referensi yang kuat bagi penelitian-penelitian berikutnya yang mengangkat topik serupa.

3.3 Jurnal Jumlah Artikel Terbanyak

Tabel 2. Jurnal Jumlah Artikel Terbanyak

No	Nama Jurnal	Jumlah Artikel
1	<i>IEEE Internet of Things Journal</i>	11
2	<i>Journal of Physics Conference Series</i>	8
3	<i>International Journal of Advanced Computer Science and Applications</i>	6
4	<i>Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science</i>	6
5	<i>Journal of Cleaner Production</i>	4
6	<i>Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems</i>	4
7	<i>Journal of Agriculture and Food Research</i>	3
8	<i>Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing</i>	3
9	<i>Journal of Computer Science</i>	2
10	<i>International Journal of Computers Communications and Control</i>	2

Berdasarkan tabel 2 Analisis pada jurnal tempat artikel dipublikasikan menunjukkan bahwa jurnal yang paling produktif dalam memuat topik penelitian terkait adalah *IEEE Internet of Things Journal*, dengan 11 artikel yang relevan. Disusul oleh *Journal of Physics Conference Series* sebanyak 8 artikel, serta *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* dan *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* yang masing-masing memuat 6 artikel.

Hal ini mengindikasikan bahwa topik-topik yang berkaitan dengan IoT, teknologi komputasi, dan teknik elektro menjadi pusat perhatian dalam kajian ilmiah terkini, terutama yang berkaitan dengan pertanian digital dan kecedasan buatan. Jurnal-jurnal tersebut dapat menjadi rujukan utama dalam pengembangan riset lanjutan (Alves, 2023).

3.4 Peringkat Jurnal

Jurnal bereputasi terindeks Scopus memiliki sistem peringkat yaitu Quartile (Q). peringkat Q1, Q2, Q3 dan Q4 adalah peringkat tentang seberapa besar dan pengaruh suatu jurnal yang terindeks Scopus dalam satu bidang keilmuan. Semakin kecil nilai Q maka semakin tinggi peringkat suatu jurnal. Nilai Q pada jurnal bereputasi terindeks Scopus dapat ditelusuri lewat <https://www.scimagojr.com> dengan cara memilih menu *Jurnal Rankings* seperti ditampilkan pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Tampilan Menu *Journal Rankings* dari <https://www.scimagojr.com>



Gambar 5. Negara Asal Jurnal dari Artikel Smart Farming berbasis IoT

Dari hasil penelusuran pada menu *Journal Rankings* didapat nilai Quartile (Q) dan negara asal dari sebuah jurnal. Kemudian dilakukan klasifikasi jurnal berdasarkan nilai Q sebagai berikut.



Gambar 4. Peringkat Jurnal dari Artikel Smart Farming berbasis IoT

Berdasarkan data dari gambar 4 Tingginya jumlah artikel dari jurnal Q1 menunjukkan bahwa topik Smart Farming berbasis IoT banyak menarik perhatian pada jurnal-jurnal dengan reputasi internasional tinggi. Hal ini mencerminkan tingkat signifikansi dan daya saing penelitian di bidang ini. Jurnal-jurnal Q3 dan Q4 juga menunjukkan kontribusi besar, yang dapat diartikan sebagai peningkatan minat dari kalangan peneliti awal atau institusi dengan akses terbatas terhadap jurnal Q1. Sementara jumlah artikel di jurnal Q2 yang relatif sedikit bisa disebabkan oleh pemusatan artikel unggulan ke jurnal Q1 atau perbedaan fokus topik di jurnal Q2. Kategori "Belum Ada" menunjukkan adanya beberapa artikel yang masih dipublikasikan di jurnal non-terindeks atau belum mendapatkan evaluasi peringkat Scopus, yang perlu menjadi perhatian bagi peneliti agar mengutamakan publikasi pada jurnal terakreditasi dan bereputasi.

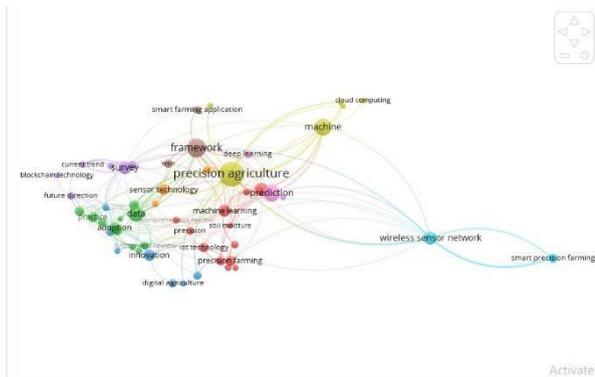
Berdasarkan gambar 5 analisis terhadap negara asal jurnal, Amerika Serikat menjadi negara yang paling banyak menerbitkan jurnal dengan topik terkait, yaitu sebanyak 18 artikel. Negara lain yang juga cukup dominan antara lain Inggris 8 artikel, Jerman, Indonesia, Singapura, dan India yang masing-masing memiliki 6 artikel, serta Belanda, Rumania, dan Filipina masing-masing 3 artikel. Distribusi negara ini memperlihatkan bahwa negara-negara maju masih mendominasi dalam publikasi jurnal ilmiah, khususnya yang berfokus pada penerapan teknologi dalam bidang pertanian dan pendidikan (Kularbphettong, 2019). Namun menarik untuk dicatat bahwa Indonesia juga muncul sebagai salah satu negara dengan kontribusi yang signifikan, menunjukkan bahwa riset domestic mulai mendapat tempat dalam komunitas akademik internasional.

3.4.1 Circles Network Visualization



Gambar 6. Visualisasi Perolehan Istilah pada software VOSviewer

Pemetaan sains dilakukan menggunakan *software VoSviewer* yang didapat dari aplikasi PoP yang disimpan dalam bentuk RIS untuk mendapatkan hasil analisis bibliometric. Setelah data RIS dimasukkan pada *software VoSviewer* diperoleh 2578 istilah dengan 94 istilah paling mendekati. Dengan memilih jumlah kemunculan minimal kata berulang yang digunakan adalah 10 istilah, diperoleh tampilan seperti Gambar 6.

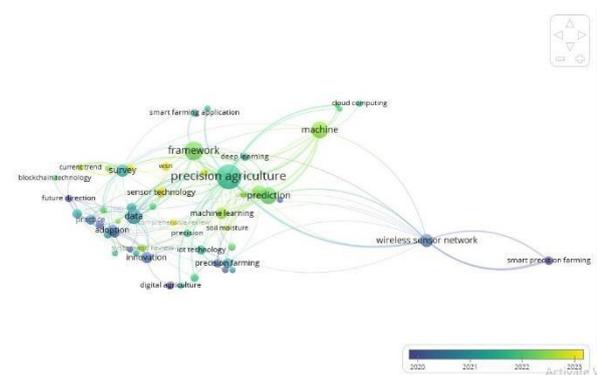


Gambar 7. Circles Network Visualization

Hasil *Circles Network Visualization* software *VoSviewer* pada gambar 7 menunjukkan adanya 9 kluster yang terdiri dari 94 tema pemetaan *Smart Farming* berbasis IoT yaitu:

1. Kluster 1 (berwarna merah) terdiri dari 6 tema yaitu: *mechine learning, deep learning, precision farming, soil moisture, IoT technology comprehensive review.*
2. Kluster 2 (berwarna hijau) terdiri dari 7 tema yaitu: *data, practice, case study, farmer, adaption, systematic review, technologies, lens.*
3. Kluster 3 (berwarna biru tua) terdiri dari 5 tema yaitu: *innovation, digital agriculture, challenges, opportunity, uav.*
4. Kluster 4 (berwarna kuning) terdiri dari 4 tema yaitu: *precision agriculture, application, mechine, claude computing.*
5. Kluster 5 (berwarna ungu tua) terdiri dari 6 tema yaitu: *survey, current trend, blokchain technology, future direction, prediction, future perspective.*
6. Kluster 6 (berwarna biru muda) terdiri dari 2 tema yaitu: *smart precision farming, wireless sensor network.*
7. Kluster 7 (berwarna orange) terdiri dari 2 tema yaitu: *sensor technology, advancement.*
8. Kluster 8 (berwarna merah kecoklatan) terdiri dari 4 tema yaitu: *smart farming application, framework, wsn.*
9. Kluster 9 (berwarna ungu muda) terdiri dari 2 tema yaitu: *prediction, deep learning.*

3.4.2 Frames Overlay Visualization

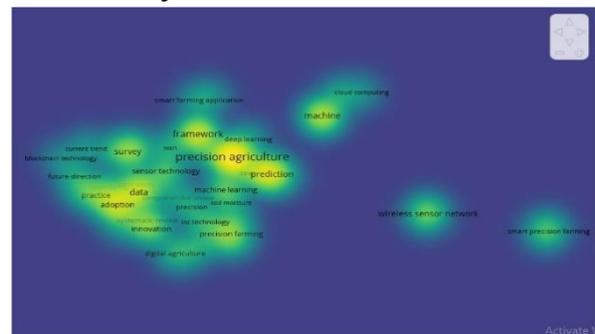


Gambar 8. Frames Overlay Visualization

Hasil *Frames Overlay Visualization* menggunakan software *VoSviewer* pada gambar 8 menunjukkan tren perkembangan tema artikel alam bidang *Smart Farming* berbasis IoT berdasarkan tahun publikasi. Warna pada visualisasi ini merepresentasikan waktu kemunculan kata kunci, dimana:

1. Warna ungu tua hingga biru tua menandakan tema yang muncul lebih awal (sekitar tahun 2020 ke bawah) yaitu *wireless sensor network dan smart precision farming.*
2. Warna hijau mewakili tema yang muncul di pertengahan waktu (2021-2022) yaitu *IoT technology, precision farming, data, adoption, dan innovation.*
3. Warna kuning cerah menunjukkan tema yang lebih baru (2023-2025) yaitu, *mechine, cloud computing, survey, dan framework.* Dengan demikian, hasil *overlay visualization* ini tidak hanya memetakan hubungan antar topik dalam penelitian *smart farming* berbasis IoT, tetapi juga membantu peneliti dalam mengidentifikasi pergeseran tren dari teknologi dasar seperti sensor dan jaringan kearah integrasi sistem, seperti *cloud computing, machine, dan framework.* Tema-tema yang muncul pada periode terbaru ini dapat menjadi referensi strategis untuk pengembangan topik riset dimasa depan dalam bidang pertanian cerdas.

3.4.3 Density Visualization



Gambar 9. Density Visualization

Hasil *Density Visualization* menggunakan software *VoSviewer* pada Gambar 9 menunjukkan tingkat kerapatan atau intensitas frekuensi kemunculan istilah dalam publikasi ilmiah terkait *Smart Farming* berbasis IoT. Warna pada visualisasi menunjukkan kepadatan topik: warna kuning cerah menandakan tema yang sangat sering muncul dalam literatu dengan kata kunci *precision, agriculture, mechine, prediction, data, adaption, sensor technology, dan framework.* Sedangkan warna hijau hingga biru tua mengidentifikasi frekuensi yang lebih rendah dan memiliki potensi untuk menjadi ruang pengembangan riset lanjutan

dalam bidang pertanian digital berbasis IoT, dengan kata kunci *wireless sensor network*, *smart precision farming*, *digital agriculture*, dan *blockchain technology*.

4. Kesimpulan dan Saran

Secara keseluruhan, penelitian bibliometrik ini dirancang untuk menyajikan gambaran yang sistematis dan komprehensif mengenai lanskap penelitian e-learning di era digital yang terus berkembang. Dengan menerapkan metodologi yang cermat, termasuk identifikasi tren publikasi dari waktu ke waktu, penelusuran kontributor utama seperti penulis, institusi, dan negara yang paling produktif, serta analisis mendalam terhadap tema-tema penelitian yang sedang hangat dan pola kolaborasi yang terbentuk, studi ini diharapkan akan menjadi sumber wawasan strategis yang sangat berharga.

Wawasan yang dihasilkan dari pemetaan ini akan secara signifikan membantu komunitas riset. Bagi peneliti, ini bukan hanya sekadar data, melainkan peta jalan yang memungkinkan mereka mengarahkan fokus riset ke area yang belum banyak dieksplorasi atau menjanjikan, mengidentifikasi potensi kolaborator yang memiliki keahlian saling melengkapi, dan secara efektif menghindari duplikasi upaya penelitian yang tidak perlu. Lebih dari itu, temuan ini juga akan menjadi landasan yang kokoh bagi para pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi pendidikan digital yang relevan dan responsif terhadap kebutuhan zaman. Di sisi praktisi, pemahaman mendalam tentang tren dan inovasi e-learning akan memberdayakan mereka untuk merancang dan mengimplementasikan solusi pembelajaran yang lebih efektif, efisien, dan relevan, sejalan dengan akselerasi transformasi pendidikan digital yang berkelanjutan di seluruh dunia. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengisi kesenjangan pengetahuan, tetapi juga memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan ekosistem e-learning global.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Madura atas dukungan fasilitas dan bimbingan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing serta semua pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data dan analisis menggunakan Publish or Perish dan VOSviewer. Tanpa dukungan tersebut, penelitian ini tidak dapat diselesaikan dengan baik

References

- , P. H., Utami, S. B., & Karlina, N. (2022). Analisis Bibliometrik: Perkembangan Penelitian Dan Publikasi Mengenai Koordinasi Program Menggunakan Vosviewer. *Jurnal Pustaka Budaya*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.31849/pb.v9i1.8599>
- Ahmed, N. (2018). Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 4890–4899. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2879579>
- Alves, R. G. (2023). Development of a Digital Twin for smart farming: Irrigation management system for water saving. *Journal of Cleaner Production*, 388. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135920>
- Friha, O. (2021). Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies. In *IEEE Caa Journal of Automatica Sinica* (Vol. 8, Issue 4, pp. 718–752). <https://doi.org/10.1109/JAS.2021.1003925>
- Gowda, D. V. (2021). Smart Agriculture and Smart Farming using IoT Technology. In *Journal of Physics Conference Series* (Vol. 2089, Issue 1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2089/1/012038>
- Javaid, M. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>
- Klerkx, L. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. In *Njas Wageningen Journal of Life Sciences* (Vol. 90). <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Kularbphetpong, K. (2019). An Automated Hydroponics System Based on Mobile Application. *International Journal of Information and Education Technology*, 9(8), 548–552. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2019.9.8.1264>
- Leduc, G. (2021). Innovative blockchain-based farming marketplace and smart contract performance evaluation. *Journal of Cleaner*

- Liu, L. (2023). Ultra-high output hybrid nanogenerator for self-powered smart mariculture monitoring and warning system. *Chemical Engineering Journal*, 472. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145039>
- Madushanki, A. A. R. (2019). Adoption of the Internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards urban greening: A review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(4), 11–28. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100402>
- Oh, S. (2023). Vertical farming - smart urban agriculture for enhancing resilience and sustainability in food security. In *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* (Vol. 98, Issue 2, pp. 133–140). <https://doi.org/10.1080/14620316.2022.2141666>
- Ray, P. P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 395–420. <https://doi.org/10.3233/AIS-170440>
- Rayhana, R. (2020). Internet of Things Empowered Smart Greenhouse Farming. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 4(3), 195–211. <https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.2984391>
- Subashini, M. M. (2018). Internet of things based wireless plant sensor for smart farming. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(2), 456–468. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v10.i2.pp456-468>
- Venkataramanan, C. (2021). LWBA: Levy-walk bat algorithm based data prediction for precision agriculture in wireless sensor networks. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 41(2), 2891–2904. <https://doi.org/10.3233/JIFS-20295>