
Tren Global Penelitian Tentang *Digital Twin*: Analisis Bibliometrik**Yaslinda Lizar¹, Defa Mal Novizam², M. Sufiananda Butar-Butar³, Asriwan Guci⁴**yaslinda@uinib.ac.id, defa.malnovizam2002@gmail.com, mhdsufiananda@gmail.com,
asriwanguci@gmail.com^{1,2,3}UIN Imam Bonjol Padang⁴STIKes MERCUBAKTIJAYA Padang

Informasi Artikel

Diterima : 10 Nov 2023

Direview : 14 Des 2023

Disetujui : 30 Des 2023

Kata Kunci*Digital Twin*,
Bibliometrik, Tren Riset

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan publikasi ilmiah bidang *digital twin*. Metode penelitian adalah kajian bibliometrik terhadap 16.504 artikel jurnal internasional terindeks Scopus periode 2014-2023. Hasil menunjukkan terjadi peningkatan publikasi yang signifikan dalam satu dekade terakhir, didominasi oleh Tiongkok, Jerman, Amerika Serikat, Inggris dan Italia. Sebagian besar publikasi adalah *conference papers* dan *articles* di bidang *Engineering* dan *Computer Science*. Berdasarkan analisis kata kunci, tema utama meliputi *smart systems*, *machine learning*, *cloud computing*, *augmented reality*, *automation*, dan *big data*. Kesimpulannya, antusiasme peneliti terhadap *digital twin* tercermin dari lonjakan publikasi global. Hal ini diperkirakan mendorong perluasan riset *digital twin* ke berbagai disiplin di masa depan.

Keywords*Digital Twin*, Bibliometrik,
Tren Riset

Abstract

This study aims to analyze the development of scientific publications in the field of digital twin. The research method is a bibliometric study of 16,504 Scopus indexed international journal articles for the period 2014-2023. The results show a significant increase in publications in the last decade, dominated by China, Germany, the United States, the United Kingdom and Italy. Most of the publications are conference papers and articles in Engineering and Computer Science. Based on keyword analysis, the main themes include smart systems, machine learning, cloud computing, augmented reality, automation, and big data. In conclusion, researchers' enthusiasm for the digital twin is reflected in the surge in global publications. This is expected to drive the expansion of digital twin research into various disciplines in the future.

A. Pendahuluan

Dalam era transformasi digital yang semakin pesat, konsep "*digital twin*" telah menjadi semakin penting. *Digital twin* adalah representasi digital dari suatu objek fisik, proses, atau sistem [1]. Hal ini mencakup penggunaan data, pemodelan matematis, dan teknologi sensor untuk menciptakan model virtual yang mencerminkan karakteristik entitas fisik tersebut [2]. Dengan kata lain, *digital twin* memungkinkan kita untuk "mengkloning" entitas fisik di dunia maya [3], yang dapat digunakan untuk pemodelan [4], analisis [5], pemantauan [6], dan pengambilan keputusan yang lebih baik [7]. *Digital twin* tidak hanya menjadi alat penting untuk mengoptimalkan kinerja sistem, tetapi juga menjadi fondasi bagi perkembangan teknologi masa depan seperti *Internet of Things* (IoT) [8] dan *Machine Learning* [9], [10]. Dengan kemampuannya untuk menciptakan entitas virtual yang selalu diperbarui berdasarkan data *real-time* [2], *digital twin* dapat memungkinkan untuk mendapatkan wawasan mendalam tentang bagaimana sistem nyata berfungsi dan berpotensi untuk mengubah cara kita menjalani kehidupan sehari-hari [11].

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi *digital twin* telah mengalami peningkatan popularitas yang signifikan di seluruh dunia [12]. Banyak sektor industri tertarik untuk memanfaatkan kegunaan teknologi ini dalam berbagai aspek kegiatan mereka. Misalnya, di sektor manufaktur, teknologi ini digunakan untuk memahami dan mengoptimalkan proses produksi [13], sementara di sektor industri kesehatan, digunakan untuk mengembangkan model organisme manusia yang akurat dan perangkat medis [14], [15]. Kemampuan teknologi ini untuk beradaptasi dengan beragam sektor membuatnya menjadi alat yang sangat bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan inovasi di berbagai industri.

Tantangan dan peluang yang ditawarkan oleh konsep *digital twin* akan terus berkembang seiring berjalannya waktu, dan penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami sepenuhnya potensinya dalam era digital ini. Dalam beberapa tahun terakhir, konsep *digital twin* telah mendapatkan perhatian besar di berbagai industri, termasuk manufaktur [16], energi [17], perawatan kesehatan [18], dan transportasi [19]. Ini mewakili perkembangan signifikan dalam cara kita memahami dan berinteraksi dengan dunia fisik di sekitar kita. Dengan data yang semakin melimpah dari sensor-sensor yang tersebar luas, serta kemajuan dalam komputasi dan pemodelan, *digital twin* telah menjadi alat yang kuat untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan pengambilan keputusan [20].

Digital twin adalah konsep yang melintasi berbagai bidang ilmu, termasuk teknik [21]–[23], ilmu komputer [24], [25], dan ilmu data [26]. Oleh karena itu, penelitian bibliometrik ini akan memberikan pandangan holistik tentang perkembangan penelitian di seluruh spektrum ilmu pengetahuan. Dalam era interdisipliner yang semakin berkembang, pengetahuan tentang bagaimana *digital twin* digunakan dan diintegrasikan di berbagai sektor dan industri menjadi semakin penting.

Analisis bibliometrik merupakan pendekatan yang efektif untuk memetakan struktur intelektual dan evolusi suatu bidang penelitian. Bibliometrik adalah teknik analisis kuantitatif yang digunakan untuk mengevaluasi perkembangan literatur akademik berdasarkan metrik seperti jumlah publikasi, kutipan, dan

kolaborasi antar peneliti. Salah satu teknik bibliometrik umum adalah menganalisis kemunculan bersama kata kunci untuk mengidentifikasi topik yang populer dan berkembang dalam suatu bidang. Dengan menerapkan teknik-teknik bibliometrik, pola dan tren topik dalam penelitian *digital twin* dapat dipetakan secara komprehensif dan sistematis. Teknik ini memungkinkan pemetaan perkembangan penelitian sistem pakar secara menyeluruh.

Penelitian ini merupakan studi bibliometrik yang bertujuan untuk menganalisis secara sistematis literatur terkait *digital twin*. Artikel pada jurnal internasional yang terindeks di Scopus dalam 10 tahun terakhir (2014-2023) dijadikan sebagai sumber data penelitian. Analisis *co-occurrence* kata kunci dilakukan untuk memetakan topik *digital twin* yang sedang populer dan berkembang saat ini. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai tren riset *digital twin*, yang dapat menjadi acuan bagi akademisi dan peneliti dalam menentukan arah riset *digital twin* di masa mendatang.

B. Metode Penelitian

Dalam artikel ini, metode kuantitatif diterapkan untuk mengenali pola penelitian yang terkait dengan tren penelitian mengenai *digital twin*. Pendekatan bibliometrik digunakan untuk menganalisis publikasi yang berada dalam ruang lingkup penelitian ini, dan juga untuk mengidentifikasi kecenderungan dalam penelitian, konsep, serta kata kunci yang memiliki signifikansi dalam domain ini [27]. Penelitian bibliometrik ini memiliki tujuan untuk menyelami literatur ilmiah, serta mengeksplorasi tren dalam subjek yang berkaitan dengan kajian *digital twin*. Dengan memanfaatkan peta bibliometrik, para ahli dapat mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai subjek ini, yang kemudian memberikan pandangan yang komprehensif tentang perkembangan riset, dan juga mendukung pengambilan keputusan yang terinformasi dalam konteks *digital twin* [28]. Analisis tren dalam publikasi internasional dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak VOSviewer. Proses pemetaan menggunakan VOSviewer bertujuan untuk mengidentifikasi relasi dan struktur antara berbagai topik penelitian [29].

Data yang digunakan diperoleh dari database Scopus (Scopus.com). Proses pengumpulan data melibatkan pencarian dengan menggunakan kata kunci "*digital twin*" dalam jangka waktu 10 tahun terakhir (2014-2023), menghasilkan sebanyak 16.504 artikel pada 04 November 2023. Metadata dari database Scopus diambil dan diekspor dalam format *Comma Separated Values* (CSV). Analisis data dilakukan dengan memanfaatkan aplikasi VOSviewer, yang memvisualisasikan data dalam bentuk jaringan dan kluster dengan penandaan berbeda menggunakan warna [30].

C. Hasil dan Pembahasan

Tren Publikasi Kajian *Digital Twin*

Selama dekade terakhir, terjadi peningkatan yang signifikan dalam jumlah publikasi yang membahas *digital twin*, seperti yang tergambar pada Gambar 1. Analisis perkembangan penelitian mengenai sistem pakar dari tahun 2014 hingga 2023 juga menggambarkan penurunan publikasi yang terkait dengan topik tersebut pada tahun 2023. Walaupun mengalami penurunan dalam pada tahun 2023, peningkatan jumlah penelitian dalam bidang *digital twin* menunjukkan bahwa minat

terhadap penelitian di sektor ini di Dunia masih tinggi dan terus berkembang setiap tahun.



Gambar 1. Tren Publikasi Kajian *Digital Twin*

Tren publikasi per tahun pada kajian *digital twin* dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel ini menampilkan jumlah publikasi dari tahun 2014 hingga 2023. Total keseluruhan jumlah publikasi dalam rentang waktu 10 tahun tersebut adalah 16.504 publikasi.

Tabel 1. Perkembangan Publikasi Penelitian *Digital Twin*

NO	TahunTerbit	Jumlah Publikasi	Persentase (%)
1	2023	4967	30,10 %
2	2022	5027	30,46 %
3	2021	3127	18,95 %
4	2020	1809	10,96 %
5	2019	1043	6,32 %
6	2018	368	2,23 %
7	2017	126	0,76 %
8	2016	28	0,17 %
9	2015	7	0,04 %
10	2014	2	0,01 %
Jumlah		16504	100%

Dari data pada Tabel 1 terlihat bahwa terjadi peningkatan jumlah publikasi yang signifikan dari tahun ke tahun. Jumlah publikasi terendah adalah pada tahun 2014 dengan hanya 2 publikasi atau 0,01% dari total publikasi. Kemudian

perlahan meningkat pada beberapa tahun berikutnya hingga mencapai 126 publikasi di tahun 2017. Lonjakan pertama terjadi pada tahun 2018 ke 2019 dimana jumlah publikasi meningkat hampir 3 kali lipat dari 368 menjadi 1.043 publikasi. Tren meningkat drastis kembali terjadi pada tahun 2020 ke 2021, dari 1.809 publikasi di tahun 2020 menjadi 3.127 di tahun 2021 atau meningkat hampir 2 kali lipat. Dua tahun terakhir yaitu 2022 dan 2023 menunjukkan jumlah publikasi di atas 4.900 dengan persentase sekitar 30% dari total seluruh publikasi. Tahun 2022 mencatat rekor tertinggi dengan 5.027 publikasi. Tren publikasi ini mengindikasikan antusiasme dan minat yang sangat besar dalam topik *digital twin* dari tahun ke tahun. Jumlah publikasi yang terus meningkat tajam menunjukkan *digital twin* merupakan bidang penelitian yang masih sangat menjanjikan.

Jurnal Inti Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin*

Hasil penelusuran menunjukkan bahwa berdasarkan 16.504 publikasi tentang *digital twin* yang terindeks pada database Scopus, publikasi tersebut diterbitkan dalam 4237 jurnal. Dari 4237 jurnal yang telah menerbitkan hasil penelitian tentang *digital twin*, terdapat sepuluh jurnal teratas sekitar 2071 dari seluruh penelitian bidang *digital twin* seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jurnal Inti Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin*

NO	Nama Jurnal	Jumlah Publikasi
1	<i>Procedia Cirp</i>	290
2	<i>Lecture Notes in Computer Science</i>	255
3	<i>Applied Sciences</i>	241
4	<i>Lecture Notes in Networks and Systems</i>	224
5	<i>IEEE Acces</i>	197
6	<i>Ifac – Papersoline</i>	197
7	<i>Journal of Physics: Coference Series</i>	173
8	<i>Ifip Advances in Information and Communicatio technology</i>	167
9	<i>Sensors</i>	165
10	<i>Proceedings of Spie – The International Society for Optical Engineering</i>	162
Jumlah		2071

Dari hasil analisis terhadap sepuluh jurnal internasional dengan publikasi tertinggi di bidang *digital twin*, diketahui bahwa jurnal *Procedia Cirp* menempati peringkat pertama dengan jumlah publikasi terbanyak yaitu 290 publikasi. Jurnal ini diterbitkan oleh *Elsevier* dan berfokus pada topik manufaktur berbasis komputer serta rekayasa industrial. Tingginya minat publikasi penelitian *digital twin* di jurnal ini menunjukkan bidang manufaktur dan industri sebagai salah satu penerapan utama teknologi *digital twin* saat ini. Peringkat kedua ditempati oleh *Lecture Notes in Computer Science* dengan 255 publikasi, diikuti *Applied Sciences* sebanyak 241 publikasi, *Lecture Notes in Networks and Systems* sebanyak 224 publikasi, *IEEE Acces* sebanyak 197 publikasi, *Ifac – Papersoline* sebanyak 197

publikasi, *Journal of Physics: Conference Series* sebanyak 173 publikasi, *Ifip Advances in Information and Communication Technology* sebanyak 167 publikasi, *Sensors* sebanyak 165 publikasi, dan *Proceedings of Spie – The International Society for Optical Engineering* sebanyak 162 publikasi. Data ini secara keseluruhan menggambarkan *digital twin* sebagai bidang riset multidisiplin yang tengah berkembang pesat.

Peneliti Produktif yang Melakukan Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin*

Berdasarkan Tabel 3, 10 peneliti terproduktif yang telah mempublikasikan penelitian tentang *digital twin* dengan jumlah publikasi berkisar 31 hingga 77 adalah Tao F dari *Beihang University* (Cina) dengan 77 publikasi, Lv Z dari *Uppsala Universitet* (Swedia) dengan 73 publikasi, Weyrich M dari *Universität Stuttgart* (Jerman) dengan 58 publikasi, Jazdi N dari *Universität Stuttgart* (Jerman) dengan 41 publikasi, Bao J dari *Donghua University* (Cina) dengan 36 publikasi, Qi Q dari *Beihang University* (Cina) dengan 34 publikasi, Andrel R dari *Technische Universität Darmstadt* (Jerman) dengan 34 publikasi, Zhang Y dari *Universitetet i Oslo* (Norwegia) dengan 33 publikasi, Strube J dari *Technische Universität Clausthal* (Jerman) dengan 32 publikasi, dan Lersen P.G dari *DIGIT Center* (Belgia) dengan 31 publikasi. Terlihat bahwa peneliti dari Cina dan Eropa Barat mendominasi dengan 8 dari 10 berasal dari kedua wilayah tersebut, menunjukkan ketertarikan tinggi pada topik ini. Ditinjau dari afiliasi institusi, terdapat kluster peneliti produktif dari *Beihang University* (Cina) dan *Universität Stuttgart* (Jerman) masing-masing berkontribusi 2 nama, menggambarkan fokus penelitian *digital twin* di kedua universitas tersebut. Secara keseluruhan, daftar ini mencerminkan dominasi publikasi dari Asia Timur dan Eropa Barat yang menunjukkan ketertarikan global pada *digital twin*.

Tabel 3. Jumlah Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin* Berdasarkan Negara

NO	Nama Peneliti	Jumlah Publikasi
1	Tao, F.	77
2	Lv, Z.	73
3	Weyrich, M.	58
4	Jazdi, N.	41
5	Bao, J.	36
6	Qi, Q.	34
7	Andrel, R.	34
8	Zhang, Y.	33
9	Strube, J.	32
10	Lersen, P.G.	31

Jumlah Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin* Berdasarkan Negara

Publikasi hasil penelusuran mengenai *digital twin* yang terindeks di database Scopus diterbitkan oleh 444 negara, di mana China mendominasi dengan jumlah publikasi terbanyak yaitu 3782. Di posisi kedua ada Jerman dengan 2160

publikasi, diikuti Amerika Serikat dengan 1889 publikasi. Inggris dan Italia berada di posisi ke-4 dan ke-5 dengan berturut-turut 1249 dan 1091 publikasi. Negara-negara lain yang masuk 10 besar penyumbang publikasi *digital twin* adalah Rusia dengan 905 publikasi, Perancis dengan 598 publikasi, India dengan 546 publikasi, Spanyol dengan 544 publikasi, dan Korea Selatan dengan 442 publikasi. Data ini menunjukkan bahwa riset dan pengembangan teknologi *digital twin* banyak dilakukan oleh negara-negara maju seperti di Eropa dan Amerika Utara. China juga menunjukkan dominasinya sebagai negara dengan jumlah publikasi terbanyak. Jumlah publikasi ilmiah tentang *digital twin* berdasarkan negara dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin* Berdasarkan Negara

NO	Nama Negara	Jumlah Publikasi
1	China	3782
2	Germany	2160
3	United States	1889
4	United Kingdom	1249
5	Italy	1091
6	Russian Federation	905
7	France	598
8	India	546
9	Spain	544
10	South Korea	442

Secara keseluruhan, publikasi ilmiah tentang *digital twin* telah dilakukan secara global oleh banyak negara, tetapi didominasi oleh negara-negara dengan kemampuan riset dan publikasi ilmiah yang kuat. Teknologi *digital twin* diperkirakan akan terus berkembang seiring peningkatan riset dan publikasi dari berbagai negara di dunia.

Jumlah Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin* Berdasarkan Tipe Dokumen

Publikasi ilmiah terbuka tentang *digital twin* telah diterbitkan dalam beragam bentuk dokumen. Berdasarkan data pada Tabel 5, diketahui bahwa jenis publikasi terbanyak adalah *conference paper* sejumlah 7395 publikasi. *Conference paper* merupakan makalah penelitian yang dipresentasikan pada konferensi ilmiah, sehingga banyaknya jenis ini menunjukkan topik *digital twin* banyak dibahas dan dipresentasikan dalam forum ilmiah. Kedua terbanyak adalah *article*, sejumlah 6859 publikasi. *Article* adalah publikasi pada jurnal ilmiah bereputasi yang telah melalui proses review sejawat ketat. Banyaknya artikel ini mencerminkan banyak penelitian *digital twin* berkualitas tinggi telah diterbitkan di jurnal-jurnal terkemuka. Selanjutnya, terdapat 765 publikasi berjenis *book chapter* yang menunjukkan topik *digital twin* juga banyak dibahas dalam buku-buku bidang teknologi dan ilmu komputer. Jenis publikasi lainnya meskipun jumlahnya lebih sedikit adalah *review* sebanyak 703 publikasi, *conference review* sebanyak 581

publikasi, *editorial* sebanyak 93 publikasi, *note* sebanyak 73 publikasi, *book* sebanyak 73 publikasi, *erratum* sebanyak 22 publikasi, *short survey* sebanyak 20 publikasi, *letter* sebanyak 11 publikasi, *retracted* sebanyak 3 publikasi, dan *data paper* sebanyak 3 publikasi.

Tabel 5. Jumlah Publikasi Ilmiah tentang Digital Twin Berdasarkan Negara

NO	Nama Negara	Jumlah Publikasi
1	<i>Conference Paper</i>	7395
2	<i>Article</i>	6859
3	<i>Book Chapter</i>	765
4	<i>Review</i>	703
5	<i>Conference Review</i>	581
6	<i>Editorial</i>	93
7	<i>Note</i>	73
8	<i>Book</i>	73
9	<i>Erratum</i>	22
10	<i>Short Survey</i>	20
11	<i>Letter</i>	11
12	<i>Retracted</i>	3
13	<i>Data Paper</i>	3

Dengan ragam jenis dokumen ini, riset dan publikasi ilmiah tentang *digital twin* terus berkembang pesat. Hal ini mencerminkan perhatian yang besar dari para ilmuwan dan akademisi terhadap topik *digital twin* saat ini.

Jumlah Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin* Berdasarkan Subjek

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa subjek *Engineering* menempati peringkat pertama dengan jumlah publikasi terbanyak yaitu 10657 publikasi. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian tentang *digital twin* banyak dilakukan oleh para peneliti bidang teknik. Kemudian di posisi kedua ada subjek *Computer Science* dengan jumlah publikasi 8618. Ini mengindikasikan bahwa ilmu komputer juga banyak terlibat dalam riset *digital twin*. Selanjutnya di urutan ketiga ada subjek *Mathematics* dengan 2878 publikasi. Kemudian berturut-turut ada subjek *Energy* dengan 1999 publikasi, *Physics and Astronomy* dengan 1862 publikasi, *Materials Science* dengan 1566 publikasi, *Decision Sciences* dengan 1535 publikasi, *Social Sciences* dengan 1094 publikasi, *Business, Management and Accounting* dengan 974 publikasi, serta *Environmental Science* dengan 947 publikasi yang juga memberikan kontribusi meskipun jumlah publikasinya lebih sedikit dibandingkan *Engineering* dan *Computer Science*.

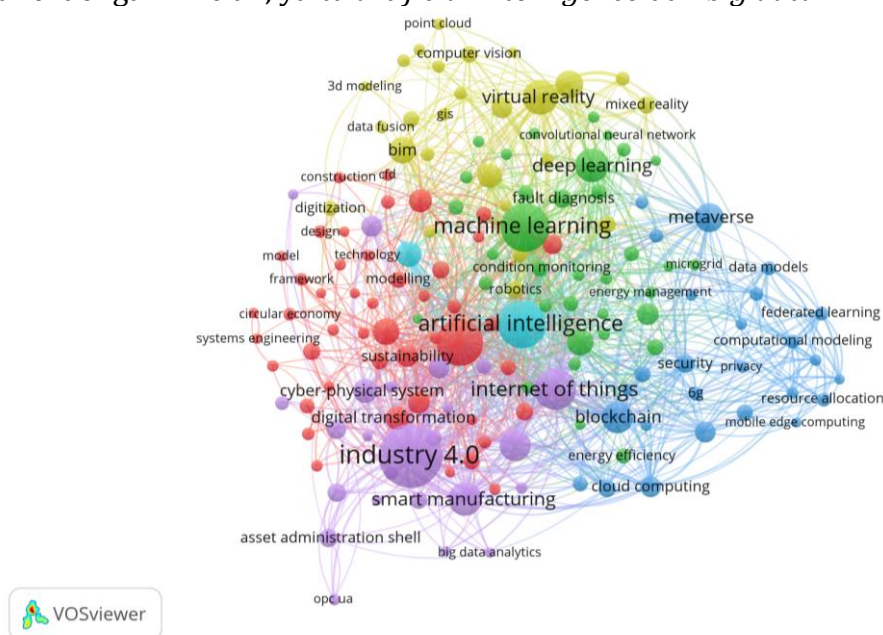
Tabel 6. Jumlah Publikasi Ilmiah tentang Digital Twin Berdasarkan Negara

NO	Nama Negara	Jumlah Publikasi
1	<i>Engineering</i>	10579

2	Computer Science	8618
3	Mathematics	2878
4	Energy	1999
5	Physics and Astronomy	1862
6	Materials Science	1566
7	Decision Sciences	1535
8	Social Sciences	1094
9	Business, Management and Accounting	974
10	Environmental Science	947

Frekuensi Kemunculan Kata Kunci Terbanyak pada Publikasi Ilmiah tentang *Digital Twin*

Berdasarkan penelusuran kata kunci, peta perkembangan publikasi penelitian tentang *digital twin* yang terindeks pada database Scopus dari tahun 2014 hingga 2023 membentuk enam kluster utama, seperti Gambar. Kluster 1 berwarna merah terdiri dari 46 kata kunci dengan rincian teratas, yaitu *smart city*, *sustainability*, *simulation*, *monitoring*, *manufacturing*, *digitalization* dan *digital transformation*. Kluster 2 berwarna hijau terdiri dari 35 kata kunci dengan rincian teratas, yaitu *deep learning*, *machine learning*, *optimization* dan *reinforcement learning*. Kluster 3 berwarna biru terdiri dari 26 kata kunci dengan rincian teratas, yaitu *blockchain*, *cloud computing*, *edge computing* dan *metaverse*. Kluster 4 berwarna kuning terdiri dari 26 kata kunci dengan rincian teratas, yaitu *augmented reality*, *building information modelling*, *predictive maintenance*, dan *structural health monitoring*. Kluster 5 berwarna ungu terdiri dari 24 kata kunci dengan rincian teratas, yaitu *additive manufacturing*, *automation*, *cyber physical systems*, *industry 4.0*, *internet of things* dan *smart manufacturing*. Kluster 6 berwarna biru muda terdiri dari 2 kata kunci dengan rincian, yaitu *artificial intelligence* dan *big data*.



Gambar 2. Tren Penelitian *Digital Twin* Berdasarkan Kata Kunci**D. Simpulan**

Penelitian mengenai *digital twin* telah mengalami peningkatan publikasi yang sangat signifikan dalam 10 tahun terakhir. Jumlah publikasi meningkat tajam terutama sejak tahun 2018, yang mencerminkan adanya minat yang besar dalam topik *digital twin* di kalangan peneliti. Penelitian didominasi oleh negara-negara maju yang memiliki kemampuan riset dan publikasi ilmiah yang kuat, seperti Tiongkok, Jerman, Amerika Serikat, Inggris, dan Italia. Sebagian besar publikasi berupa *conference papers* dan *articles* yang dipublikasikan di forum-forum ilmiah bereputasi, mengindikasikan banyaknya hasil riset *digital twin* yang bermutu tinggi. Dari sisi disiplin ilmu, kontribusi terbesar berasal dari bidang *Engineering* dan *Computer Science*, yang menggambarkan peran sentral keahlian dalam bidang teknik dan ilmu komputer. Berdasarkan analisis kata kunci, tema-tema utama yang dikaji dalam penelitian *digital twin* antara lain mencakup *smart systems*, *machine learning*, *cloud computing*, *augmented reality*, *automation*, dan *big data*. Secara keseluruhan, antusiasme yang besar dari para peneliti di berbagai negara terhadap topik *digital twin* tercermin dari lonjakan publikasi penelitian global dalam satu dekade terakhir. Gelombang ketertarikan ini diperkirakan akan mendorong perluasan riset *digital twin* ke beragam bidang dan disiplin ilmu di masa mendatang.

E. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian. [Cambria 12, spasi 1]

F. Referensi

- [1] H. van der Valk, J. Hunker, M. Rabe, dan B. Otto, "Digital Twins in Simulative Applications: A Taxonomy," in *2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, IEEE, Des 2020, hal. 2695–2706. doi: 10.1109/WSC48552.2020.9384051.
- [2] D. Zhong, Z. Xia, Y. Zhu, dan J. Duan, "Overview of predictive maintenance based on digital twin technology," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, hal. e14534, Apr 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14534.
- [3] C. Qian, X. Liu, C. Ripley, M. Qian, F. Liang, dan W. Yu, "Digital Twin—Cyber Replica of Physical Things: Architecture, Applications and Future Research Directions," *Futur. Internet*, vol. 14, no. 2, hal. 64, Feb 2022, doi: 10.3390/fi14020064.
- [4] F. Tao, B. Xiao, Q. Qi, J. Cheng, dan P. Ji, "Digital twin modeling," *J. Manuf. Syst.*, vol. 64, hal. 372–389, Jul 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.06.015.
- [5] H. Boyes dan T. Watson, "Digital twins: An analysis framework and open issues," *Comput. Ind.*, vol. 143, hal. 103763, Des 2022, doi: 10.1016/j.compind.2022.103763.
- [6] S. Choi, J. Woo, J. Kim, dan J. Y. Lee, "Digital Twin-Based Integrated Monitoring System: Korean Application Cases," *Sensors*, vol. 22, no. 14, Jul 2022, doi: 10.3390/s22145450.
- [7] Y. Jeong, E. Flores-Garcia, dan M. Wiktorsson, "A Design of Digital Twins for Supporting Decision-Making in Production Logistics," in *2020 Winter*

- Simulation Conference (WSC)*, IEEE, Des 2020, hal. 2683–2694. doi: 10.1109/WSC48552.2020.9383863.
- [8] G. Fortino dan C. Savaglio, "Integration of Digital Twins & Internet of Things," in *The Digital Twin*, Cham: Springer International Publishing, 2023, hal. 205–225. doi: 10.1007/978-3-031-21343-4_8.
- [9] M. Perno, L. Hvam, dan A. Haug, "A machine learning digital twin approach for critical process parameter prediction in a catalyst manufacturing line," *Comput. Ind.*, vol. 151, hal. 103987, Okt 2023, doi: 10.1016/j.compind.2023.103987.
- [10] T. Y. Melesse, M. Bollo, V. Di Pasquale, F. Centro, dan S. Riemma, "Machine Learning-Based Digital Twin for Monitoring Fruit Quality Evolution," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, hal. 13–20, 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.200.
- [11] M. Attaran dan B. G. Celik, "Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities," *Decis. Anal. J.*, vol. 6, hal. 100165, Mar 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2023.100165.
- [12] M. A. P. dan F. M. Assidiq, "Penerapan Digital Twin Untuk Mengurangi Dampak Bencana," *J. SENSISTE*, vol. 3, no. 1, hal. 24–29, 2022.
- [13] I. Onaji, D. Tiwari, P. Soulatiantork, B. Song, dan A. Tiwari, "Digital twin in manufacturing: conceptual framework and case studies," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 35, no. 8, hal. 831–858, Agu 2022, doi: 10.1080/0951192X.2022.2027014.
- [14] M. Peshkova, V. Yumasheva, E. Rudenko, N. Kretova, P. Timashev, dan T. Demura, "Digital twin concept: Healthcare, education, research," *J. Pathol. Inform.*, vol. 14, no. March, hal. 100313, 2023, doi: 10.1016/j.jpi.2023.100313.
- [15] A. Haleem, M. Javaid, R. Pratap Singh, dan R. Suman, "Exploring the revolution in healthcare systems through the applications of digital twin technology," *Biomed. Technol.*, vol. 4, hal. 28–38, Des 2023, doi: 10.1016/j.bmt.2023.02.001.
- [16] M. Soori, B. Arezoo, dan R. Dastres, "Digital twin for smart manufacturing, A review," *Sustain. Manuf. Serv. Econ.*, vol. 2, hal. 100017, Apr 2023, doi: 10.1016/j.smse.2023.100017.
- [17] C. Ghenai, L. A. Husein, M. Al Nahlawi, A. K. Hamid, dan M. Bettayeb, "Recent trends of digital twin technologies in the energy sector: A comprehensive review," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 54, hal. 102837, Des 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102837.
- [18] T. Sun, X. He, dan Z. Li, "Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges," *Digit. Heal.*, vol. 9, hal. 205520762211496, Jan 2023, doi: 10.1177/20552076221149651.
- [19] K. Kušić, R. Schumann, dan E. Ivanjko, "A digital twin in transportation: Real-time synergy of traffic data streams and simulation for virtualizing motorway dynamics," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 55, hal. 101858, Jan 2023, doi: 10.1016/j.aei.2022.101858.
- [20] P. Verboven, T. Defraeye, A. K. Datta, dan B. Nicolai, "Digital twins of food process operations: the next step for food process models?," *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 35, hal. 79–87, Okt 2020, doi: 10.1016/j.cofs.2020.03.002.

- [21] A. Liljaniemi dan H. Paavilainen, "Using Digital Twin Technology in Engineering Education-Course Concept to Explore Benefits and Barriers," *Open Eng.*, vol. 10, no. 1, hal. 377–385, 2020, doi: 10.1515/eng-2020-0040.
- [22] P. G. Larsen, J. Fitzgerald, dan J. Woodcock, "How do we engineer trustworthy digital twins?," *Res. Dir. Cyber-Physical Syst.*, vol. 1, hal. e3, Jul 2023, doi: 10.1017/cbp.2023.3.
- [23] Z. Xuereb Conti, R. Choudhary, dan L. Magri, "A physics-based domain adaptation framework for modeling and forecasting building energy systems," *Data-Centric Eng.*, vol. 4, hal. e10, Apr 2023, doi: 10.1017/dce.2023.8.
- [24] J. Akroyd, S. Mosbach, A. Bhawe, dan M. Kraft, "Universal Digital Twin - A Dynamic Knowledge Graph," *Data-Centric Eng.*, vol. 2, hal. e14, Sep 2021, doi: 10.1017/dce.2021.10.
- [25] M. S. Bonney *et al.*, "Development of a digital twin operational platform using Python Flask," *Data-Centric Eng.*, vol. 3, hal. e1, Jan 2022, doi: 10.1017/dce.2022.1.
- [26] F. Emmert-Streib, "Defining a Digital Twin: A Data Science-Based Unification," *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 5, no. 3, hal. 1036–1054, Agu 2023, doi: 10.3390/make5030054.
- [27] N. Farida, "Analisis bibliometrik berdasarkan pendekatan Co-word: Kecenderungan penelitian bidang kearsipan pada Jurnal Khazanah dan Journal of Archive and Record tahun 2016 – 2019," *Khazanah J. Pengemb. Kearsipan*, vol. 13, no. 2, hal. 91, 2020, doi: 10.22146/khazanah.55690.
- [28] P. Dhiman *et al.*, "Healthcare Trust Evolution with Explainable Artificial Intelligence: Bibliometric Analysis," *Information*, vol. 14, no. 10, hal. 541, Okt 2023, doi: 10.3390/info14100541.
- [29] Suntoro dan N. H. Setyaningsih, "Pemetaan Bibliometrik Dengan Vosviewer Terhadap Perkembangan Penelitian Bidang Menulis Karya Ilmiah," *J. Kaji. Inf. dan Perpust.*, vol. 14, no. 1, hal. 53–70, 2022, doi: <https://doi.org/10.21154/pustakaloka.v14i1.3597>.
- [30] M. Mustak, J. Salminen, L. Plé, dan J. Wirtz, "Artificial intelligence in marketing: Topic modeling, scientometric analysis, and research agenda," *J. Bus. Res.*, vol. 124, no. December 2022, hal. 389–404, 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2020.10.044.
- [1] H. van der Valk, J. Hunker, M. Rabe, dan B. Otto, "Digital Twins in Simulative Applications: A Taxonomy," in *2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, IEEE, Des 2020, hal. 2695–2706. doi: 10.1109/WSC48552.2020.9384051.
- [2] D. Zhong, Z. Xia, Y. Zhu, dan J. Duan, "Overview of predictive maintenance based on digital twin technology," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, hal. e14534, Apr 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14534.
- [3] C. Qian, X. Liu, C. Ripley, M. Qian, F. Liang, dan W. Yu, "Digital Twin—Cyber Replica of Physical Things: Architecture, Applications and Future Research Directions," *Futur. Internet*, vol. 14, no. 2, hal. 64, Feb 2022, doi: 10.3390/fi14020064.
- [4] F. Tao, B. Xiao, Q. Qi, J. Cheng, dan P. Ji, "Digital twin modeling," *J. Manuf. Syst.*, vol. 64, hal. 372–389, Jul 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.06.015.
- [5] H. Boyes dan T. Watson, "Digital twins: An analysis framework and open

- issues,” *Comput. Ind.*, vol. 143, hal. 103763, Des 2022, doi: 10.1016/j.compind.2022.103763.
- [6] S. Choi, J. Woo, J. Kim, dan J. Y. Lee, “Digital Twin-Based Integrated Monitoring System: Korean Application Cases,” *Sensors*, vol. 22, no. 14, Jul 2022, doi: 10.3390/s22145450.
- [7] Y. Jeong, E. Flores-Garcia, dan M. Wiktorsson, “A Design of Digital Twins for Supporting Decision-Making in Production Logistics,” in *2020 Winter Simulation Conference (WSC)*, IEEE, Des 2020, hal. 2683–2694. doi: 10.1109/WSC48552.2020.9383863.
- [8] G. Fortino dan C. Savaglio, “Integration of Digital Twins & Internet of Things,” in *The Digital Twin*, Cham: Springer International Publishing, 2023, hal. 205–225. doi: 10.1007/978-3-031-21343-4_8.
- [9] M. Perno, L. Hvam, dan A. Haug, “A machine learning digital twin approach for critical process parameter prediction in a catalyst manufacturing line,” *Comput. Ind.*, vol. 151, hal. 103987, Okt 2023, doi: 10.1016/j.compind.2023.103987.
- [10] T. Y. Melesse, M. Bollo, V. Di Pasquale, F. Centro, dan S. Riemma, “Machine Learning-Based Digital Twin for Monitoring Fruit Quality Evolution,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, hal. 13–20, 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.200.
- [11] M. Attaran dan B. G. Celik, “Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities,” *Decis. Anal. J.*, vol. 6, hal. 100165, Mar 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2023.100165.
- [12] M. A. P. dan F. M. Assidiq, “Penerapan Digital Twin Untuk Mengurangi Dampak Bencana,” *J. SENSISTE*, vol. 3, no. 1, hal. 24–29, 2022.
- [13] I. Onaji, D. Tiwari, P. Soulatiantork, B. Song, dan A. Tiwari, “Digital twin in manufacturing: conceptual framework and case studies,” *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 35, no. 8, hal. 831–858, Agu 2022, doi: 10.1080/0951192X.2022.2027014.
- [14] M. Peshkova, V. Yumasheva, E. Rudenko, N. Kretova, P. Timashev, dan T. Demura, “Digital twin concept: Healthcare, education, research,” *J. Pathol. Inform.*, vol. 14, no. March, hal. 100313, 2023, doi: 10.1016/j.jpi.2023.100313.
- [15] A. Haleem, M. Javaid, R. Pratap Singh, dan R. Suman, “Exploring the revolution in healthcare systems through the applications of digital twin technology,” *Biomed. Technol.*, vol. 4, hal. 28–38, Des 2023, doi: 10.1016/j.bmt.2023.02.001.
- [16] M. Soori, B. Arezoo, dan R. Dastres, “Digital twin for smart manufacturing, A review,” *Sustain. Manuf. Serv. Econ.*, vol. 2, hal. 100017, Apr 2023, doi: 10.1016/j.smse.2023.100017.
- [17] C. Ghenai, L. A. Husein, M. Al Nahlawi, A. K. Hamid, dan M. Bettayeb, “Recent trends of digital twin technologies in the energy sector: A comprehensive review,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 54, hal. 102837, Des 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102837.
- [18] T. Sun, X. He, dan Z. Li, “Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges,” *Digit. Heal.*, vol. 9, hal. 205520762211496, Jan 2023, doi: 10.1177/20552076221149651.

-
- [19] K. Kušić, R. Schumann, dan E. Ivanjko, "A digital twin in transportation: Real-time synergy of traffic data streams and simulation for virtualizing motorway dynamics," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 55, hal. 101858, Jan 2023, doi: 10.1016/j.aei.2022.101858.
- [20] P. Verboven, T. Defraeye, A. K. Datta, dan B. Nicolai, "Digital twins of food process operations: the next step for food process models?," *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 35, hal. 79–87, Okt 2020, doi: 10.1016/j.cofs.2020.03.002.
- [21] A. Liljaniemi dan H. Paavilainen, "Using Digital Twin Technology in Engineering Education-Course Concept to Explore Benefits and Barriers," *Open Eng.*, vol. 10, no. 1, hal. 377–385, 2020, doi: 10.1515/eng-2020-0040.
- [22] P. G. Larsen, J. Fitzgerald, dan J. Woodcock, "How do we engineer trustworthy digital twins?," *Res. Dir. Cyber-Physical Syst.*, vol. 1, hal. e3, Jul 2023, doi: 10.1017/cbp.2023.3.
- [23] Z. Xuereb Conti, R. Choudhary, dan L. Magri, "A physics-based domain adaptation framework for modeling and forecasting building energy systems," *Data-Centric Eng.*, vol. 4, hal. e10, Apr 2023, doi: 10.1017/dce.2023.8.
- [24] J. Akroyd, S. Mosbach, A. Bhawe, dan M. Kraft, "Universal Digital Twin - A Dynamic Knowledge Graph," *Data-Centric Eng.*, vol. 2, hal. e14, Sep 2021, doi: 10.1017/dce.2021.10.
- [25] M. S. Bonney *et al.*, "Development of a digital twin operational platform using Python Flask," *Data-Centric Eng.*, vol. 3, hal. e1, Jan 2022, doi: 10.1017/dce.2022.1.
- [26] F. Emmert-Streib, "Defining a Digital Twin: A Data Science-Based Unification," *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 5, no. 3, hal. 1036–1054, Agu 2023, doi: 10.3390/make5030054.
- [27] N. Farida, "Analisis bibliometrik berdasarkan pendekatan Co-word : Kecenderungan penelitian bidang kearsipan pada Jurnal Khazanah dan Journal of Archive and Record tahun 2016 – 2019," *Khazanah J. Pengemb. Kearsipan*, vol. 13, no. 2, hal. 91, 2020, doi: 10.22146/khazanah.55690.
- [28] P. Dhiman *et al.*, "Healthcare Trust Evolution with Explainable Artificial Intelligence: Bibliometric Analysis," *Information*, vol. 14, no. 10, hal. 541, Okt 2023, doi: 10.3390/info14100541.
- [29] Suntoro dan N. H. Setyaningsih, "Pemetaan Bibliometrik Dengan Vosviewer Terhadap Perkembangan Penelitian Bidang Menulis Karya Ilmiah," *J. Kaji. Inf. dan Perpust.*, vol. 14, no. 1, hal. 53–70, 2022, doi: <https://doi.org/10.21154/pustakaloka.v14i1.3597>.
- [30] M. Mustak, J. Salminen, L. Plé, dan J. Wirtz, "Artificial intelligence in marketing: Topic modeling, scientometric analysis, and research agenda," *J. Bus. Res.*, vol. 124, no. December 2022, hal. 389–404, 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2020.10.044.