

Perkembangan Penggunaan *Virtual Reality* Pada Bidang Ergonomi Di Era *Society 5.0*: Telaah Falsafah Ilmu

Ainun Rahmansyah Gaffar¹, Wahyudi Sutopo²

¹Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

²Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

E-mail: ¹ainunrgss@student.uns.ac.id, ²wahyudisutopo@staff.uns.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Submitted:
July 16, 2024

Accepted:
July 18, 2024

Published:
August 1, 2024

ABSTRACT

Entering the era of society 5.0, the technology and science of industrial engineering, especially in the field of ergonomics, is growing. With the development of technology, the use of various tools or devices that support ergonomics research results is needed, one of which is virtual reality (VR). The development of virtual reality is positively correlated with the era of Society 5.0 where virtual space and the real world are integrated. In the era of society 5.0 the use of VR in ergonomics is increasingly varied and growing. Studies that use VR are not only included in 1 to 2 fields in the IISE BoK but can reach 3 to 4 fields. This study focuses on the development of the use of VR in industrial engineering science, especially in the field of ergonomics in the era of society 5.0 using the literature review method and the study of the philosophy of science. The results obtained show that the development of VR in industrial engineering is very rapid. However, in the field of ergonomics, the development of the number of studies is not fast but varies from the IISE BoK. Apart from the ergonomics & human factors BoK, there are other BoKs such as design & manufacturing engineering with 10 studies, work design & measurement with 7 studies, and system design & engineering with 6 studies. In terms of the philosophy of science, the use of VR in the field of ergonomics in the era of Society 5.0 provides a fundamental understanding of the basis, methodology, and benefits.

Keywords:

Ergonomic, industrial engineering, society 5.0, virtual reality

Kata Kunci:

Ergonomi, society 5.0, teknik industri, virtual reality

ABSTRAK

Memasuki era *society 5.0* teknologi dan keilmuan teknik industri terutama di bidang ergonomi semakin berkembang. Dengan perkembangan teknologi penggunaan berbagai tools atau device yang mendukung hasil penelitian ergonomi diperlukan, salah satunya adalah virtual reality (VR). Perkembangan virtual reality berkorelasi positif dengan era *society 5.0* dimana ruang maya dan dunia nyata saling terintegrasi. Di era *society 5.0* penggunaan VR dalam ergonomi semakin bervariasi dan berkembang. Studi yang menggunakan VR tidak hanya masuk ke dalam 1 hingga 2 bidang dalam IISE BoK, akan tetapi dapat mencapai 3 hingga 4 bidang. Studi ini berfokus untuk mengetahui bagaimana perkembangan penggunaan VR dalam keilmuan teknik industri khususnya pada bidang ergonomi di era *society 5.0* dengan menggunakan metode literature review dan telaah falsafah ilmu. Diperoleh hasil bahwa perkembangan VR pada teknik industri sangatlah pesat. Akan tetapi pada bidang ergonomi perkembangan dari jumlah studi tidak pesat namun bervariasi dari IISE BoK. Selain dari BoK *ergonomics & human factors*, terdapat BoK lainnya seperti *design & manufacturing engineering* berjumlah 10 studi, *work design & measurement* berjumlah 7 studi serta *system design & engineering* berjumlah 6 studi. Ditinjau dari aspek falsafah ilmu penggunaan VR dalam bidang ergonomi di era *society 5.0* memberikan pemahaman fundamental mengenai dasar, metodologi, dan manfaat.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Corresponding Author:

Ainun Rahmansyah Gaffar,
 Magister Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas
 Sebelas Maret
 Jalan Ir Sutami No. 36, Kota Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia.
 Email: ainunrgss@student.uns.ac.id

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di abad 21st hingga memasuki era *society* 5.0 keilmuan teknik industri juga semakin berkembang terutama di bidang ergonomi. Pada era sebelum teknik industri lahir, para arkeolog zaman mesir kuno telah menggunakan konsep ergonomi untuk membantu membangun struktur dari sebuah bangunan [1], [2]. Sejak pertama kali Frederick Taylor memperkenalkan *principles of scientific management* dan menggunakan prinsip ergonomi untuk meningkatkan produktivitas, keilmuan teknik industri terutama ergonomi telah jauh berkembang. Perkembangan ini terjadi karena tuntutan industri yang terus berubah, sehingga mendorong disiplin ilmu untuk berubah dan berkembang untuk memenuhi kebutuhan manusia. Selain itu, pertumbuhan ilmiah dan teknologi membawa dampak yang jauh lebih besar [3].

Memasuki era *society* 5.0 dimana konsep masyarakat masa depan yang berpusat pada manusia dan berbasis teknologi [4], ergonomi bukan hanya sekedar berfokus pada peningkatan kenyamanan kerja. Berdasarkan pada *Industrial and Systems Engineering Body of Knowledge* (IISE BoK) [5], ergonomi terdiri atas *physical ergonomics*, *cognitive ergonomics*, dan *organizational ergonomics*. Dengan era *society* 5.0 dan perkembangan keilmuan ergonomi penggunaan berbagai *tools* atau *device* yang mendukung hasil penelitian ergonomi diperlukan, salah satunya adalah *virtual reality* (VR). Menurut [6] teknologi VR memiliki potensi untuk menjadi alat yang bermanfaat dalam berbagai bidang, seperti keteknikan, pendidikan, kedokteran, dan hiburan.

Virtual reality merupakan sebuah *tools* atau *device* grafis yang interaktif real-time dengan model tiga dimensi, dikombinasikan dengan teknologi tampilan yang memberikan pengguna pengalaman mendalam dalam dunia model dan rekayasa langsung [7]. Perkembangan *virtual reality* berkorelasi positif dengan era *society* 5.0 dimana ruang maya dan dunia nyata saling terintegrasi. Hal ini dikarenakan VR memberikan pengalaman yang interaktif dan imersif (dengan perasaan asli) dalam dunia simulasi (otonom) [8]. Dalam sistem lingkungan *virtual*, komputer menghasilkan tayangan sensorik yang dikirimkan ke indera manusia. Jenis dan kualitas tayangan ini memberikan perasaan kehadiran dalam VR [9]. Dengan interaksi manusia komputer, pengguna memanipulasi lingkungan simulasi dengan cara yang sama seperti kita bertindak di dunia nyata, tanpa perlu mempelajari cara kerjanya yang rumit [9]. Hal tersebut yang membuat VR sering kali digunakan untuk membantu sebuah studi teknik industri. Pada [6] bahwa pada keilmuan teknik industri umumnya VR digunakan untuk simulator mengemudi dan simulator penerbangan untuk pilot sehingga mengurangi biaya dan resiko selama pelatihan.

Perkembangan penggunaan VR mulai terlihat sejak awal abad ke-21st, khususnya pada bidang ergonomi penggunaan VR digunakan dapat digunakan untuk merancang sebuah work station, seperti [10] VR digunakan untuk merancang work station yang ergonomis. Dengan menggunakan pendekatan ini telah menghemat biaya dan waktu yang seharusnya. Memasuki era *society* 5.0 penggunaan VR dalam ergonomi semakin bervariasi dan berkembang. Studi yang menggunakan VR tidak hanya masuk ke dalam 1 hingga 2 bidang dalam IISE BoK, akan tetapi dapat mencapai 3 hingga 4 bidang. Sebagaimana pada [11] VR digunakan sebagai media untuk membangun *virtual environment* untuk mengetahui pengaruh kompleksitas tugas terhadap persepsi waktu. Berdasarkan telaah falsafah yang telah dilakukan studi ini mencakup 4 bidang IISE BoK. Studi lainnya, pada [12] VR digunakan sebagai teknologi untuk mengembangkan konsep metaverse industri, studi ini mencakup 3 bidang IISE BoK.

Sehingga menjadi suatu hal yang menarik bagaimana perkembangan penggunaan VR di bidang ergonomi di era *society* 5.0. secara keseluruhan, studi ini telah menelaah studi terdahulu terkait perkembangan penggunaan VR di era *society* 5.0 berdasarkan pada IISE BoK dan aspek falsafah ilmu.

2. METODE PENELITIAN**2.1. Literature Review**

Studi ini berfokus untuk mengetahui bagaimana perkembangan penggunaan VR dalam keilmuan teknik industri khususnya pada bidang ergonomi di era *society* 5.0. Dalam mencapai tujuan studi, Telah dilakukan *literature review* dengan mengikuti *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sumber *database* berasal dari scopus, dengan menggunakan kata kunci: "*Virtual Reality*" AND *industrial* AND *cognitive* OR *ergonomics*". Dalam memenuhi kriteria kelayakan hanya artikel bahasa inggris yang dipilih, tahun terbit dari 2016-2024 serta *subject area* yang digunakan "*engineering*, *computer science*, *neuroscience*, dan *social science*". Berdasarkan kriteria yang telah

ditentukan, diperoleh 65 artikel. Dilakukan *screening* judul dan abstrak dengan artikel yang sesuai dan diperoleh 18 artikel. Terdapat 3 artikel yang tidak dapat di akses, sehingga total artikel yang dipilih adalah 15 artikel.

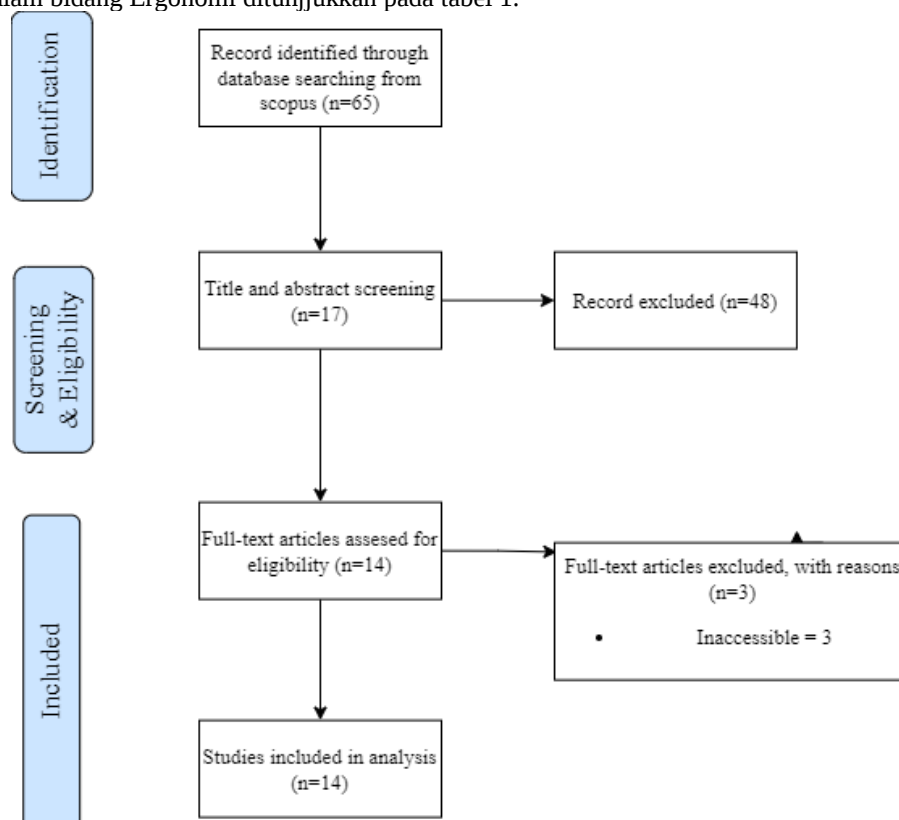
2.2. Telaah Falsafah Ilmu

Metode falsafah ilmu berdasarkan kepada tiga aspek, yaitu ontologi (apa), epistemologi (bagaimana), aksiologi (untuk apa). Dalam sebuah ilmu terdapat objek, pernyataan, proposisi, dan karakteristik dimana hal tersebut berdasarkan pada ontologi, epistemologi, dan aksiologi [13]. Berdasarkan pada 15 artikel yang telah diperoleh, kemudian dilakukan penelaahan pada artikel tersebut dengan ketiga aspek falsafah ilmu sehingga analisis IISE Bok dilakukan.

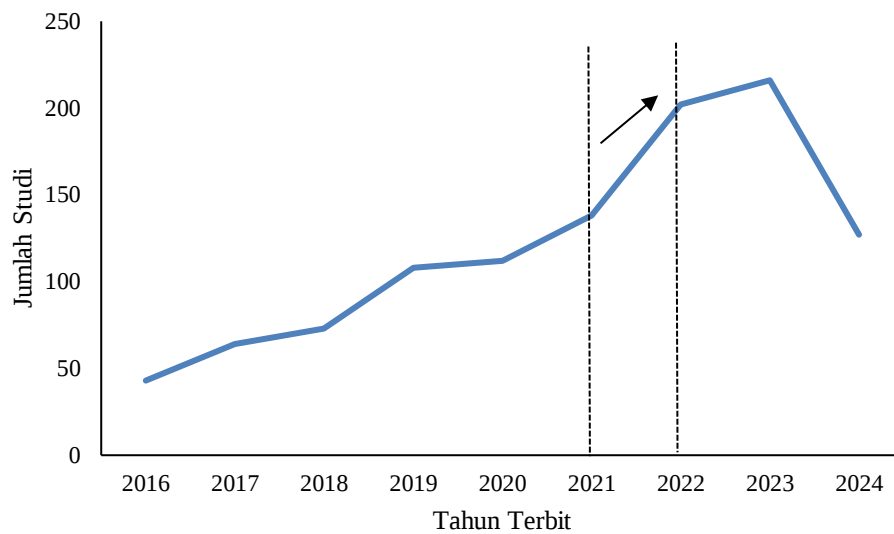
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan *literature review* yang telah dilakukan, diperoleh sejumlah studi yang menunjukkan bagaimana perkembangan VR di teknik industri di era *society* 5.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Jumlah artikel atau studi mulai dicari pada tahun 2016, sesuai dengan [4], bahwa *society* 5.0 pertama kali diumumkan pada tahun 2016. Perkembangan penggunaan VR area Teknik Industri mulai terlihat pada tahun 2022, dimana terjadi peningkatan dari 2021 sebanyak 138 studi menjadi 202 studi pada 2022, atau peningkatan terjadi sebesar 46,38%. Persentasi ini merupakan peningkatan terbesar semenjak 2016. Penggunaan VR semenjak 2016-2023 terus mengalami peningkatan.

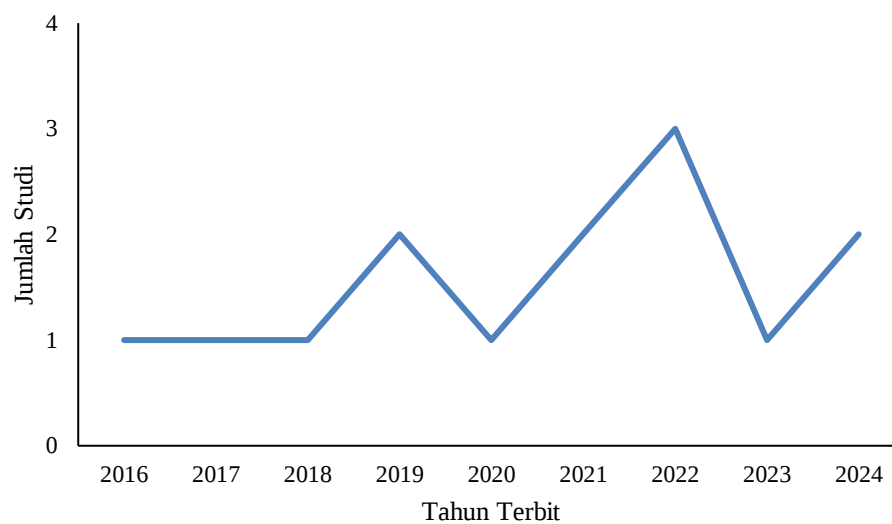
Hal ini berbeda dengan perkembangan penggunaan VR dalam bidang ergonomi di era *society* 5.0 ($n=14$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Bahwa tidak ada peningkatan yang signifikan dari 2016 hingga 2022. Puncaknya terjadi pada tahun 2022 sebanyak 3 studi, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan VR bidang ergonomi masih sangat jarang dilakukan, sehingga hal tersebut dapat menjadi gap untuk studi selanjutnya. Rincian studi penggunaan VR dalam bidang Ergonomi ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 1. Flowchart Literature Review



Gambar 2. Perkembangan Penggunaan VR



Gambar 3. Perkembangan Penggunaan VR dalam Bidang Ergonomi

Tabel 1. Penggunaan VR

No	Authors	Tahun Terbit	Afiliasi	Metode Penelitian	Tujuan Penelitian
1	[14]	2016	China	Task Simulation	Integrasi Ergonomi ke dalam pemeliharaan desain
2	[15]	2017	Italy	Task Simulation	Desain Ergonomi Tempat Kerja
3	[16]	2018	Yunani	Task Simulation	Desain dan Analisis Tempat Kerja
4	[17]	2019	Oman	Desain Eksperimen	Optimalisasi Produksi
5	[18]	2019	France	Co-Simulation Environment	Desain Tempat Kerja Kolaboratif
6	[19]	2020	USA	Scenario Simulation	Integrasi VR dengan Sistem untuk Proses dan Desain Produk

Tabel 1. Penggunaan VR (lanjutan)

No	Authors	Tahun Terbit	Afiliasi	Metode Penelitian	Tujuan Penelitian
7	[11]	2021	USA	Desain Eksperimen	Persepsi Waktu Kerja
8	[20]	2021	Italy	<i>Simulation Task</i>	Desain Pabrik <i>Human-Centric</i>
9	[21]	2022	France	<i>Digital-Twin Simulation</i>	Evaluasi Tempat Kerja <i>Collaborative Robotics</i>
10	[22]	2022	China	<i>Immverse Simulation</i>	Optimalisasi Desain Ergonomi dalam Skenario Perakitan dan Perawatan Manual
11	[23]	2022	Italy	Desain Eksperimen	Identifikasi Potensi Stres Pekerja
12	[24]	2023	India	Desain Eksperimen	Pemodelan Pendidikan Desain Industri
13	[25]	2024	Italy	<i>Task Simulation</i>	Kolaborasi <i>Human-Robotic</i> Pada Manufaktur Kerajinan Tangan
14	[12]	2024	Finland	Analisis Skenario	Mempelajari <i>Metaverse</i> dari Sudut Pandang Faktor Manusia dan Ergonomi

Berdasarkan tabel 1 tersebut, afiliasi atau negara (penulis pertama) terbanyak adalah *Italy* dengan 4 studi [15], [20], [23], [25]. *China* dengan 2 [14], [22]. *USA* dengan 2 studi [11], [19]. *France* dengan 2 studi [18], [21]. Sementara itu, studi berasal dari *Finland* [12], *India* [24], *Oman* [17] dan *Yunani* [16]. Dapat diketahui bahwa penggunaan studi VR dalam bidang Ergonomi paling banyak dilakukan oleh negara Eropa.

Selanjutnya berdasarkan pada metode penelitian, sebanyak 9 dari 14 studi menggunakan metode simulasi atau membandingkan *real world* dengan *virtual* simulasi dengan menggunakan VR [14]-[16], [18], [19], [20]-[22], [25]. Sementara itu, 4 studi [11], [17], [23], [24] menggunakan metode desain eksperimen atau berfokus untuk mengetahui hubungan sebab-akibat antara variabel uji. Studi terbaru [12] menggunakan metode analisis skenario untuk mencapai tujuan yang di ingin dicapai.

Selanjutnya berdasarkan pada tujuan penelitian, VR bukan hanya sebagai alat bantu untuk mendesain tempat kerja yang ergonomis seperti pada studi [14]-[19]. Pada [11] VR digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kompleksitas tugas terhadap persepsi waktu kerja. Sementara itu, pada [12] VR digunakan untuk mempelajari *metaverse* dari *point of view* HF/E. Sehingga dilihat dari tujuan penelitian pada masing masing studi, VR bukan hanya digunakan dalam *BoK ergonomics & human factors*, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

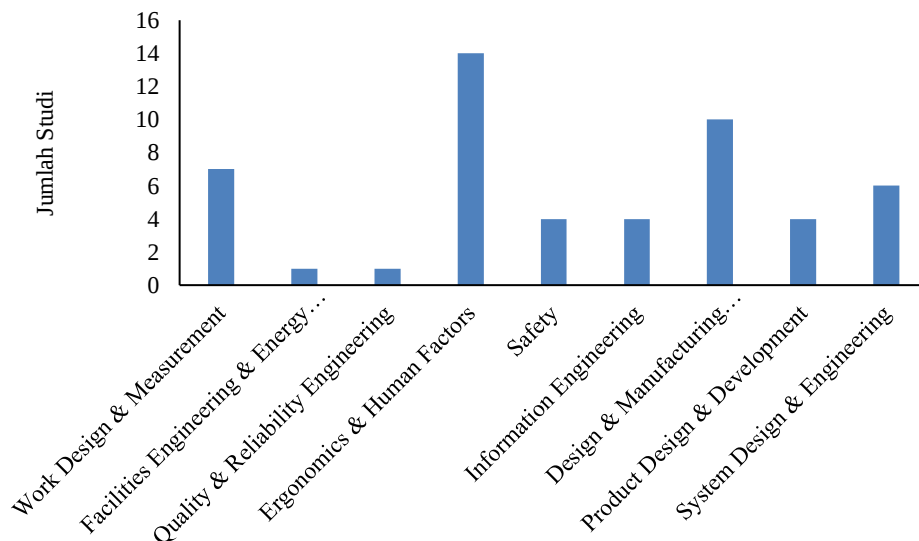
Tabel 2. Telaah IISE BoK Penggunaan VR

No	Authors	Tahun Terbit	IISE Bok													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	[14]	2016	V					V						V		
2	[15]	2017	V					V				V		V		
3	[16]	2018	V			V		V						V		
4	[17]	2019	V					V						V	V	
5	[18]	2019						V					V	V		V
6	[19]	2020						V						V	V	V
7	[11]	2021	V				V	V					V			
8	[20]	2021						V						V		V
9	[21]	2022						V				V				V
10	[22]	2022						V						V	V	V
11	[23]	2022	V					V				V				
12	[24]	2023						V					V	V	V	
13	[25]	2024	V					V				V		V		

14	[12]	2024	V	V	V
Berikut merupakan keterangan kolom IISE BoK dari tabel 2:					
1. <i>Work Design & Measurement</i>					
2. <i>Operations Research & Analysis</i>					
3. <i>Engineering Economic Analysis</i>					
4. <i>Facilities Engineering & Energy Management</i>					
5. <i>Quality & Reliability Engineering</i>					
6. <i>Ergonomics & Human Factors</i>					
7. <i>Operations Engineering & Management</i>					
8. <i>Supply Chain Management</i>					
9. <i>Engineering Management</i>					
10. <i>Safety</i>					
11. <i>Information Engineering</i>					
12. <i>Design & Manufacturing Engineering</i>					
13. <i>Product Design & Development</i>					
14. <i>System Design & Engineering</i>					

Berdasarkan pada tabel tersebut, bahwa memasuki era *society* 5.0 walaupun tidak ada perkembangan yang signifikan pada penggunaan VR di bidang ergonomi. IISE BoK dari studi tersebut sangat bervariasi. BoK dari studi ini dapat membuktikan bahwa studi terkait termasuk ke dalam kajian teknik industri. Sehingga variasi IISE BoK tersebut juga dapat menjadi bukti perkembangan penggunaan VR di bidang ergonomi, lebih jelasnya ditunjukkan pada gambar 4 di bawah.

Setiap studi termasuk ke dalam BoK *ergonomics & human factors*, hal ini sesuai dengan tujuan studi ini. Sementara itu BoK lainnya seperti *design & manufacturing engineering* berjumlah 10 studi, *work design & measurement* berjumlah 7 studi serta *system design & engineering* berjumlah 6 studi. BoK ini merujuk ke tujuan studi terkait, dimana studi tersebut untuk melakukan sebuah desain tempat kerja yang ergonomi dengan bantuan VR [14]-[19]. Pada [16], studi mencakup BoK *facilities engineering & energy management* dikarenakan studi juga membahas tentang membahas perencanaan dan optimasi tata letak fasilitas produksi. Studi lainnya [11] mencakup BoK *quality & reliability engineering*, dikarenakan studi ini juga fokus untuk membahas desain eksperimen yang digunakan akan mempengaruhi hasil dari studi.



Gambar 4. Visualisasi IISE BoK Penggunaan VR

Berdasarkan pada telaah falsafah ilmu, studi yang diperoleh dilandaskan pada tiga aspek yaitu ontologi, epistemologi, dan aksiologi [26]. Ditinjau dari aspek ontologi, yaitu hakikat "yang ada" mengenai pemeriksaan, analisis ilmu mengenai apakah ilmu dapat dibuktikan keberadaannya [13]. Dalam studi ini ilmu yang dimaksudkan adalah studi (n=14) yang telah diperoleh, menunjukkan bahwa VR adalah sebuah teknologi yang digunakan untuk menciptakan simulasi imersif, bidang ergonomi sebagai jembatan keilmuan pada interaksi manusia dengan lingkungan

kerja atau dengan mesin (*human-machine interaction*), *society* 5.0 sebagai konsep masyarakat yang berpusat pada manusia dan didukung oleh teknologi (VR) [4]. Dengan aspek ontologi memberikan pemahaman mengenai bagaimana VR dalam bidang ergonomi di era *society* 5.0

Ditinjau dari aspek epistemologi, yaitu bagaimana ilmu diperoleh [13]. Dalam studi ini epistemologi dilihat dari metode penelitian sebagai cara untuk mencapai tujuan. Metode dilakukan dengan simulasi, desain eksperimen, dan skenario analisis. Analisis data dilakukan dengan berbagai teknik analisis variat dan komputasi, sebagaimana pada [11] Dimana data eksperimen yang diperoleh dianalisis menggunakan menggunakan ANOVA agar dapat memperoleh hasil yang sesuai. Selain itu validasi hasil studi dibuktikan dengan studi terkait telah dipublikasikan dalam sebuah artikel ilmiah di jurnal internasional yang bereputasi.

Ditinjau dari aspek aksiologi, yaitu bagaimana ilmu yang telah diperoleh digunakan [13]. Dalam studi ini aksiologi dilihat dari hasil penelitian dan bagaimana manfaatnya. Pada studi (n=14) memberikan kontribusi terhadap penggunaan VR dalam bidang ergonomi sehingga dapat dijadikan landasan untuk studi berikutnya, selain itu dengan menggunakan VR dapat memberikan keselamatan kepada pekerja dengan melalui berbagai teknik seperti analisis resiko pada studi [25]. Implikasi terbanyak dalam penggunaan VR untuk desain tempat kerja yang ergonomis [14]-[19].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dengan menggunakan metode *literature review* dan telaah falsafah ilmu, bahwa perkembangan penggunaan VR di teknik industri di era *society* 5.0 sangatlah pesat hingga mencapai peningkatan persentasi tertinggi pada 2022. Berbeda dengan fokus pada bidang ergonomi, tidak terdapat peningkatan yang signifikan di era *society* 5.0 dalam penggunaan VR sehingga masih sangat terbuka untuk dilakukan studi lebih lanjut. Walaupun demikian, IISE BoK dari studi tersebut sangat bervariasi. Selain dari BoK *ergonomics & human factors*, terdapat BoK lainnya seperti *design & manufacturing engineering* berjumlah 10 studi, *work design & measurement* berjumlah 7 studi serta *system design & engineering* berjumlah 6 studi. Ditinjau dari aspek falsafah ilmu (ontologi, epistemologi, dan aksiologi) memberikan pemahaman fundamental mengenai dasar, metodologi, dan manfaat dari penggunaan VR dalam bidang ergonomi di era *society* 5.0. Namun demikian, studi hanya terbatas pada satu database sehingga diperlukan validasi yang lebih lanjut agar memperoleh hasil yang lebih akurat, studi masa depan juga dapat melakukan analisis lebih mendalam agar tiap artikel yang dipilih menunjukkan kecenderungan objek penelitian dengan lebih detail, sehingga penulis dapat memposisikan studi yang akan dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Clarke and E. R, *Ancient Egyptian Construction and Architecture*. New York: Dover Publication, 1990.
- [2] S. Bouguern, "A Brief History of Industrial Engineering in Industrial Revolutions," in *International Scientific-Practical Online Conference*, 2022.
- [3] J. H. Mendoza-Chacón, J. F. Ramírez-Bolaños, H. S. Floréz-Obceno, and J. D. Díaz-Castro, "Developing and evolution of industrial engineering and its paper in education," *Ing. Compet.*, vol. 18, no. 2, p. 89, Jul. 2016, doi: 10.25100/iyv.v18i2.2156.
- [4] J. Federation, "Toward realization of the new economy and society." keidanren.or.jp, 2016. Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: https://www.keidanren.or.jp/en/policy/2016/029_outline.pdf
- [5] of I. & S. E. Institute, "Industrial and System Engineering Body of Knowledge." Institute of Industrial Engineers, 2021. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.iise.org/Details.aspx?id=43631>
- [6] A. Hamad and B. Jia, "How Virtual Reality Technology Has Changed Our Lives: An Overview of the Current and Potential Applications and Limitations," *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, vol. 19, no. 18, p. 11278, Sep. 2022, doi: 10.3390/ijerph191811278.
- [7] G. Bishop and H. Fuchs, "Research directions in virtual environments: report of an NSF Invitational Workshop, March 23-24, 1992, University of North Carolina at Chapel Hill," *ACM SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 26, no. 3, pp. 153–177, Aug. 1992, doi: 10.1145/142413.142416.
- [8] D. Zeltzer, "Autonomy, Interaction, and Presence," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 1, no. 1, pp. 1992, doi: 10.1162/pres.1992.1.1.127.
- [9] T. Mazuryk and M. Gervautz, "History, Applications, Technology and Future," *VIRTUAL Real.*
- [10] R. Lin and J. G. Kreifeldt, "Ergonomics in wearable computer design," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 27, no. 4, pp. 259–269, Apr. 2001, doi: 10.1016/S0169-8141(00)00055-X.

-
- [11] J. Li and J.-E. Kim, "The Effect of Task Complexity on Time Estimation in the Virtual Reality Environment: An EEG Study," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 20, p. 9779, Oct. 2021, doi: 10.3390/app11209779.
 - [12] S. Aromaa, P. Heikkilä, E. Kaasinen, H. Lammi, A. Tammela, and K. Salminen, "Human factors and ergonomics considerations in the industrial metaverse," *Int. J. Hum. Factors Ergon.*, vol. 11, no. 1, pp. 4–27, 2024, doi: 10.1504/IJHFE.2024.137128.
 - [13] D. Rokhmah, "ILMU DALAM TINJAUAN FILSAFAT: ONTOLOGI, EPISTEMOLOGI, DAN AKSIOLOGI," *J. Studi Keislaman.*, vol. 7, no. 2, pp. 172–186, 2021.
 - [14] D. Zhou, J. Chen, C. Lv, and Q. Cao, "A method for integrating ergonomics analysis into maintainability design in a virtual environment," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 54, pp. 154–163, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.ergon.2016.06.003.
 - [15] M. Peruzzini, S. Carassai, M. Pellicciari, and A. O. Andrisano, "Human-centred design of ergonomic workstations on interactive digital mock-ups," *Adv. Mech. Des. Eng. Manuf.*, pp. 1187–1195, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-45781-9_119.
 - [16] G. Michalos, A. Karvouniari, N. Dimitropoulos, T. Togias, and S. Makris, "Workplace analysis and design using virtual reality techniques," *CIRP Ann.*, vol. 67, no. 1, pp. 141–144, 2018, doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.120.
 - [17] A. Azizi, P. Ghafoorpoor Yazdi, and M. Hashemipour, "Interactive design of storage unit utilizing virtual reality and ergonomic framework for production optimization in manufacturing industry," *Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM*, vol. 13, no. 1, pp. 373–381, Mar. 2019, doi: 10.1007/s12008-018-0501-9.
 - [18] V. Havard, B. Jeanne, M. Lacomblez, and D. Baudry, "Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations," *Prod. Manuf. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 472–489, Jan. 2019, doi: 10.1080/21693277.2019.1660283.
 - [19] A. Corallo, M. Lazoi, G. Papadia, and C. Pascarelli, "Action Research on Virtual-Reality-Assisted Product and Process Design," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 69, no. 6, pp. 3292–3309, Dec. 2022, doi: 10.1109/TEM.2020.3038461.
 - [20] M. Peruzzini, F. Grandi, S. Cavallaro, and M. Pellicciari, "Using virtual manufacturing to design human-centric factories: an industrial case," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 115, no. 3, pp. 873–887, Jul. 2021, doi: 10.1007/s00170-020-06229-2.
 - [21] V. Weistroffer, F. Keith, A. Bisiaux, C. Andriot, and A. Lasnier, "Using Physics-Based Digital Twins and Extended Reality for the Safety and Ergonomics Evaluation of Cobotic Workstations," *Front. Virtual Real.*, vol. 3, p. 781830, Feb. 2022, doi: 10.3389/frvir.2022.781830.
 - [22] Z. Guo *et al.*, "An evaluation method using virtual reality to optimize ergonomic design in manual assembly and maintenance scenarios," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 121, no. 7–8, pp. 5049–5065, Aug. 2022, doi: 10.1007/s00170-022-09657-4.
 - [23] R. K. Khamaisi, A. Brunzini, F. Grandi, M. Peruzzini, and M. Pellicciari, "UX assessment strategy to identify potential stressful conditions for workers," *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, vol. 78, p. 102403, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.rcim.2022.102403.
 - [24] S. Banerjee, A. Chowdhury, and N. Yein, "User Experience Evaluation of a Virtual Reality Tool Used for 3D Modelling in Industrial Design Education: A Study in the Indian Context," *Designs*, vol. 7, no. 5, p. 105, Aug. 2023, doi: 10.3390/designs7050105.
 - [25] M. Ciccarelli, M. Forlini, A. Papetti, G. Palmieri, and M. Germani, "Advancing human–robot collaboration in handcrafted manufacturing: cobot-assisted polishing design boosted by virtual reality and human-in-the-loop," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 132, no. 9–10, pp. 4489–4504, Jun. 2024, doi: 10.1007/s00170-024-13639-z.
 - [26] T. Jasnain, B. Mardianti, R. Sari, R. Wardarita, and P. I. Utami, "KAJIAN ONTOLOGI, EPISTEMOLOGI DAN AKSIOLOGI DALAM PENDIDIKAN ISLAM DI INDONESIA," *J. Pendidik. Dan Keislaman.*, no. 1, 2022.