

ANALISIS BIBLIOMETRIK PERANCANGAN ARSITEKTUR DENGAN KECERDASAN BUATAN

Bibliometric Analysis of Architectural Design with Artificial Intelligence

| Received December 5th 2022 | Accepted January 5th 2023 | Available online January 31th 2023 |
| DOI 10.56444/sarga.v17i1.219 | Page 48 - 63 |

Andrey Caesar Effendi^{1*}, Yantri Komala Dewi²

andrey.effendi@matanauniversity.ac.id; Universitas Matana; Banten, Indonesia^{1*}

yantri.dewi@matanauniversity.ac.id; Universitas Matana; Banten, Indonesia²

ABSTRAK

Kemajuan teknologi dan keberadaan data besar dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) yang dapat diakses, diteliti, dan diterapkan dalam beberapa dekade ini, bidang ilmu arsitektur pun mengalami perubahan dan perkembangan sebagai dampak dari fenomena tersebut. Namun kajian secara terstruktur maupun kajian secara cepat mengenai perubahan dan perkembangan teknologi terutama dalam pengetahuan Artificial Intelligence dan arsitektur yang mempengaruhi bidang keilmuan arsitektur itu sendiri di Indonesia belum tersedia secara komprehensif. Dalam penelitian literatur berikut ini, metode pencarian literatur melalui big data di internet dengan menggunakan perangkat lunak Publish or Perish yang kemudian dianalisa secara bibliometrik dengan menggunakan perangkat lunak VosViewer. Analisa bibliometrik tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kata kunci yang muncul bersamaan dalam penelitian selama 10 tahun terakhir. Secara keseluruhan, tujuan makalah ini adalah dapat menjadi sumber yang berguna untuk memperoleh wawasan tentang perancangan arsitektur dengan menggunakan Artificial Intelligence serta menjadi referensi untuk penelitian yang lebih lanjut.

Kata Kunci: Analisa, Bibliometrik, Perancangan, Arsitektur, Artificial Intelligence

ABSTRACT

With technological advances and the existence of big data and Artificial Intelligence that can access, research, and apply in recent decades, architecture has experienced changes and developments due to this phenomenon. However, structured studies and rapid studies regarding changes and technological developments, especially in Artificial Intelligence and architecture knowledge that affect the scientific field of architecture itself in Indonesia, are not yet comprehensively available. In the following literature research, the literature search method through big data on the internet uses Publish or Perish software which is then analyzed bibliometrically using VosViewer software. The bibliometric analysis identifies keywords that have emerged together in research over the last ten years. Overall, the purpose of this paper is to be a useful resource for gaining insight into architectural design using Artificial Intelligence and being a reference for further research.

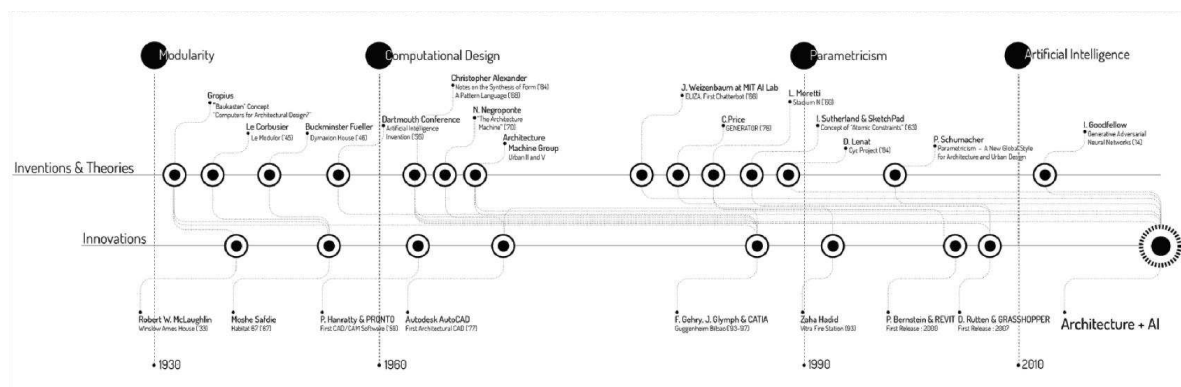
Keyword: Analytics, Bibliometrics, Design, Architecture, Artificial Intelligence

PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi dalam bidang arsitektur telah mengubah cara arsitek dalam melaksanakan proses desain arsitektur, terutama dalam konteks kemajuan teknologi yang dibuat dalam beberapa tahun terakhir. Arsitek pada era modern sekitar awal abad ke-20 seperti Walter Gropius, Le Corbusier, Mies van der Rohe, dll sudah mulai menggunakan kemajuan teknologi dalam bidang arsitektur. Kemajuan teknologi dalam bidang arsitektur tersebut dimulai dengan menggunakan bahan prefabrikasi berupa modul-modul (Chaillou, 2019b). Setelah kemajuan teknologi dengan menggunakan bahan prefabrikasi, kemajuan teknologi dalam bidang arsitektur memasuki era digital dengan pemanfaatan komputer yang menggunakan perangkat lunak sebagai alat peraga dalam menggambar arsitektur. Memasuki era teknologi digital ini, proses desain tersebut juga dapat disebut dengan Desain Komputasional (Chaillou, 2019b).

Desain Komputasional adalah metode desain yang menggunakan pemrograman untuk merancang dan mengubah bentuk dan struktur (Kyratsis, 2020). Seiring berjalannya waktu, penggunaan software arsitektur semakin meningkat. Asimilasi proses digital dan arsitektur menciptakan arsitektur digital (Burry, 2011). Berkembangnya era Desain Komputasional dengan menggunakan perangkat lunak seperti CAD membuat inovasi lebih jauh lagi penggunaan perangkat lunak dalam bidang arsitektur dengan mulai diperkenalkannya penggunaan parameter (*parametricism*) (Oxman, 2006) dalam proses desain yang menjadi tanda masuknya arsitektur ke dalam era teknologi selanjutnya.

Dalam *parametricism*, kekompleksitasan yang ada dalam arsitektur sedikit diabaikan, karena pada realitanya arsitektur adalah hasil dari banyak parameter realitas yang di algoritamkan oleh arsitek sesuai dengan konteks, lingkungan, masyarakat, budaya, dan sejarahnya. Realitas yang mendalam ini merupakan penggabungan disiplin ilmu secara sistematis dengan parameter yang sangat kompleks serta dengan menggunakan ilmu data (*Data Science*) dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang merupakan bagian dari komputasi statistik (Chaillou, 2019b). Dengan pemikiran terhadap realitas yang lebih mendalam ini terjadi perubahan dalam proses penggambaran, lebih jauh lagi dalam proses berpikir sang arsitek.



Gambar 1. A Four Sequence of Technological Evolution in Architecture

Sumber: Stanislass Chaillou

Teknologi digital yang digunakan dalam dunia arsitektur diawali dengan evolusi yang terjadi dalam penggunaan media visual (Oxman, 2008) sebagai alat representasi yang berkembang dengan penggunaan perangkat lunak CAD pada awal tahun 1980-an. Penggunaan teknologi

digital tersebut pertama kali digunakan secara luas dengan menggunakan software Auto Cad sebagai pengganti mesin gambar konvensional dengan penggunaan kertas, penggaris, dan pensil (Atmajayani, 2018) yang cukup memakan banyak tempat penyimpanan. Pada saat ini tempat penyimpanan tersebut menjadi lebih kompak dan tidak memakan banyak tempat dengan data digital yang tersimpan dalam sebuah gawai kecil (Tripathi, 2017).

Setelah mulai diperkenalkannya penggunaan teknologi digital dengan komputer yang diawali penggunaan software Auto CAD bertahun-tahun berkembang, semakin banyak muncul software-software lainnya seperti Revit, Archi Cad, dll. Perdebatan tentang penggunaan komputer telah bergeser dari sejumlah masalah teknis menjadi masalah yang berhubungan dengan digitalisasi arsitektur (Schumacher, 2011). Dalam makalah yang berjudul "*The Philosophy of Digital Architecture*", Yu-Tung Liu (Liu, 2006) mengungkapkan pertanyaan-pertanyaan prinsip terkait masuknya arsitektur ke dalam era arsitektur digital, seperti : Apakah arsitektur digital itu? Apakah itu merupakan sebuah alat baru? Atau teori baru? Atau zaman baru? Atau revolusi baru dalam bidang arsitektur?

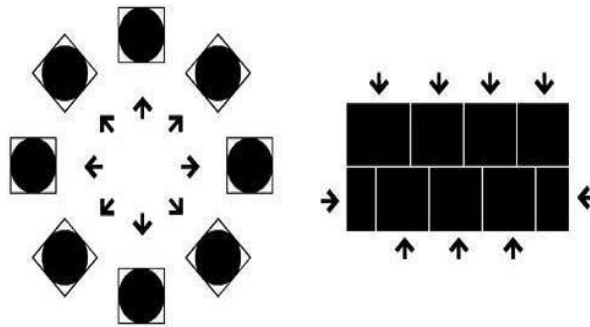
Masa peralihan dari metode manual menjadi digital yang cukup signifikan terjadi pada tahun 90-an dimana terjadi perkembangan besar pada perangkat lunak arsitektur dengan munculnya berbagai jenis perangkat lunak 2D dan 3D, serta kombinasi dari kedua perangkat lunak tersebut. Semakin banyaknya pembangunan selama dekade tersebut, memberikan kenyataan bahwa konstruksi dalam suatu proyek menjadi semakin kompleks dan sulit untuk diatur (Alshawi & Ingirige, 2003) (Chan et al., 2004), muncul perangkat lunak arsitektur generasi berikutnya yaitu BIM (Building Information Modeling) (Succar, 2009). Software ini tidak hanya mencakup informasi penting dalam proses desain dan konstruksi tetapi juga tentang manajemen konstruksi dan pemeliharaan yang diintegrasikan ke dalam pemodelan 3D (Bryde et al., 2014).

Pesatnya perkembangan teknologi digital dalam dunia arsitektur telah menyebabkan perbedaan formal antara struktur geometris dan objek desain yang kompleks secara topologi (Oxman, 2006). Perkembangan bentuk geometris kompleks berdasarkan parameter (Gyulai & Katona, 2020) mulai menggantikan kompleksitas dan kontradiksi (Venturi et al., 1977) yang terkait dengan arsitektur postmodern. Minat baru dalam desain kinerja, teori struktural, topologi, dan penggunaan parameter dalam representasi material mencerminkan kritik implisit terhadap kompleksitas dan kontroversi yang lebih formal daripada generasi sebelumnya (Gyulai & Katona, 2020). Penggunaan parameter tersebut merupakan sinyal bahwa arsitektur telah memasuki era teknologi digital yang baru (Schumacher, 2016). Seperti Frank Gehry yang menggunakannya pada saat mendesain arsitektur Museum Guggenheim, Bilbao, yang menjadi katalisator utama, menjauh dari bentuk apriori seperti bentuk linguistik dan memperkenalkan pendekatan geometris baru dengan menggunakan parameter untuk mengubahnya menjadi bentuk yang lebih kompleks (*parametricism*) (Schumacher, 2020).

Dalam arsitektur terdapat kompleksitas parameter (Salingaros, 2020) yang kemudian di algoritmakan oleh arsitek pada saat mendesain sesuai dengan konteks, sosial, budaya, sejarah, masyarakat, dan parameter lainnya yang tidak dapat diakomodir oleh *parametricism*. Realitas ini merupakan kombinasi disiplin ilmu dengan prosedur yang sangat kompleks yang membutuhkan pengolahan ilmu data dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk memprosesnya yang merupakan bagian dari komputasi statistik (Chaillou, 2019a).

Pena & Parshall (2001) menjadikan kegiatan analisa dan sintesa faktor utama dalam proses desain arsitektur. Proses analisa dapat disebut sebagai kegiatan *programming* sebagai proses

dari pencarian masalah (*problem seeking*), sementara kegiatan sintesa disebut sebagai kegiatan *design* yang sebagai pemecahan masalah (*problem solving*) (Peña & Parshall, 2001).



Gambar 2. Analysis and synthesis diagram

Sumber: Pena & Parshall, 2001

Menurut Pena & Parshall, arsitek yang baik dan berpengalaman tidak akan langsung melakukan penilaian dan menolak solusi tanpa melakukan menerima semua informasi yang kemudian dianalisis sehingga mendapatkan akar permasalahannya. Pada saat melakukan programming yang merupakan awal dari proses desain dan mendapatkan akar dari permasalahan, berarti arsitek telah melakukan setengah dari perjalanan dalam proses desain (Peña & Parshall, 2001)

Menganalisis tren berdasarkan analisis bibliometric yang dapat mengungkapkan wawasan ke arah kemajuan desain arsitektur dengan menggunakan *Artificial Intelligence* berdasarkan tren literatur. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, membandingkan, dan menjelaskan perkembangan desain arsitektur dengan menggunakan *Artificial Intelligence*—dalam literatur untuk menjawab beberapa pertanyaan: mengapa beberapa tren bertahan di beberapa area dan jalur apa yang akan dikembangkan oleh pengembangan. Kesimpulannya kemudian mengkorelasikan kata kunci yang muncul dengan implementasi signifikan lebih lanjut dari desain komputasi.

REVIEW LITERATUR

Artificial Intelligence

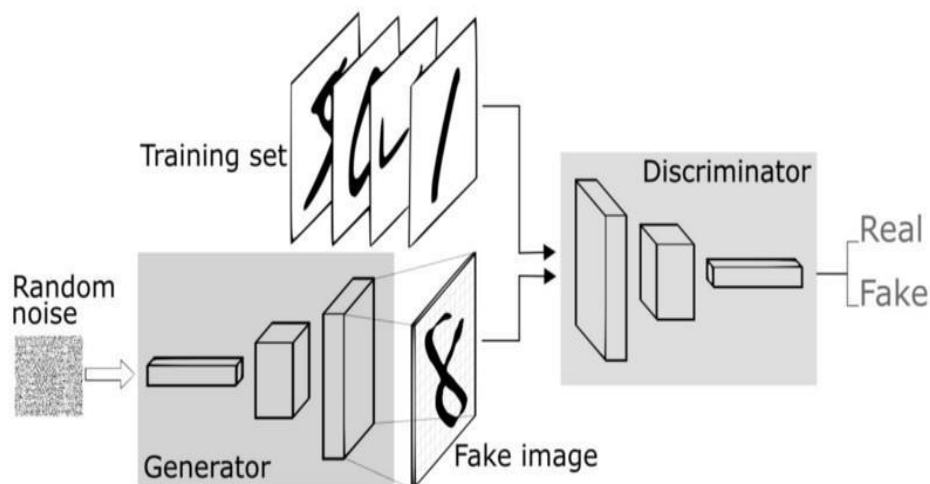
Menurut Wang dalam teorinya di bidang kecerdasan buatan adalah pasti berpusat pada konsep "kecerdasan" yang secara akurat mempunyai tiga konsep, yaitu : *Human Intelligence* (kecerdasan manusia), *Computer Intelligence* (kecerdasan komputer), *General Intelligence* (kecerdasan umum). Untuk pembahasan saat ini, *HI* juga bisa disebut sebagai "kecerdasan alami", *CI* sebagai "kecerdasan buatan", dan *GI* hanya sebagai "kecerdasan", yang juga mencakup konsep lain seperti "kecerdasan hewan", "kecerdasan kolektif", "alien intelijen", dan kecerdasan-kecerdasan lainnya sebagai kasus khusus (Wang, 2018).

Di masa depan *Artificial Intelligence* mempunyai peran yang semakin banyak meningkat dalam setiap sendi kehidupan manusia. *Artificial Intelligence* bekerja dengan menggunakan algoritma yang berbeda dengan manusia. Dengan menggunakan pembelajaran mesin, algoritma *Artificial Intelligence* dapat melihat pola dan hubungannya yang mungkin terlewat oleh manusia. Dalam beberapa bidang pekerjaan di masa depan, *Artificial Intelligence* akan mampu menggantikan kemampuan manusia dalam mengerjakan sesuatu. Tetapi di lain pihak keberadaan *Artificial Intelligence* akan sangat membantu manusia dalam melakukan pekerjaan diantaranya dengan cara menambahkan kecerdasan pada produk-produk, melakukan pembelajaran yang progresif

dengan keakuratan yang mengagumkan, pemanfaatan *big data* untuk menganalisis data yang lebih banyak dan mendalam, dll.

Pada tahun 2014, seorang peneliti di Google Brain yang bernama Ian Goodfellow menjadikan penggunaan algoritma dalam Artificial Intelligence ini menjadi lebih menarik. Ide model yang ditawarkan oleh Goodfellow ini adalah dengan menggunakan sistem jaringan saraf (*Neural Network*) dan pembelajaran mesin (*Machine Learning*) untuk memproduksi gambar sekaligus memastikan keakuratan dari gambar tersebut melalui proses kompetitif di mana jaringan *generator* dan *diskriminator* dilatih secara bersamaan. *Generator* belajar untuk menghasilkan data yang masuk akal, sedangkan *diskriminator* belajar membedakan data palsu yang dibuat oleh generator dari sampel data nyata (Salehi et al., 2020). Model algoritma ini membalikkan definisi *Artificial Intelligence*, yang merupakan alat analisis menjadi agen generatif sehingga diberi nama Generative Adversarial Neural Network (GANs) (Goodfellow et al., 2020). Algoritma GANs ini termasuk ke dalam pembelajaran mendalam atau *Deep Learning* dalam ranah Artificial Intelligence.

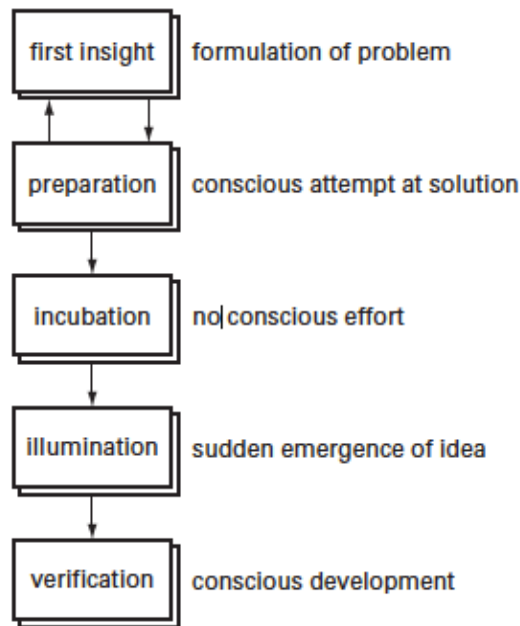
Pemodelan algoritma GANs tersebut membawa *Artificial Intelligence* yang sebelumnya lebih banyak digunakan dalam bidang ilmu di luar arsitektur, kini menjadi selangkah lebih dekat ke dalam bidang arsitektur, yaitu menggambar dan produksi gambar. Pembelajaran mesin yang dilakukan oleh jaringan saraf dalam pemodelan algoritma ini, dari jaringan saraf yang sederhana hingga GANs yang merupakan alat generasi gambar dan digabungkan dengan kemampuan komputasi yang semakin kuat, ekonomis dan dapat diakses, menjadikan *Artificial Intelligence* memiliki peran di bidang arsitektur sebagai media yang kuat dan terjangkau.



Gambar 3. Analysis and synthesis diagram
Sumber: Stanislass Chaillou, 2019

Perancangan Arsitektur

Terdapat lima fase yang diidentifikasi oleh Bryan Lawson pada saat perancang melakukan proses perancangan atau pemecahan masalah (*problem solving*) dalam bukunya yang berjudul "*How Designers Think : The Design Process Demystified*". Kelima fase pemecahan masalah tersebut adalah tahap pendahuluan tentang permasalahan (*first insight*), persiapan (*preparation*), inkubasi (*incubation*), pencerahan (*illumination*), dan verifikasi (*verification*) (Purcell, 1981)



Gambar 4. Five stage model creative process
Sumber: Lawson, 1980

METODE

Membangun sebuah penelitian sebuah keilmuan yang berkaitan dengan eksisting data bisa menjadi sebuah kompleksitas yang tidak terbatas. Penelitian kajian literatur ini akan menggunakan analisa bibliometrik yang merupakan prosedur untuk menyajikan ringkasan yang jelas dari sejumlah penelitian ilmiah yang sangat besar (van Nunen et al., 2018).

Pencarian data dalam penelitian analisis bibliometrik ini menggunakan software Publish or Perish (Baneyx, 2008). Namun, untuk menganalisis dan mendapatkan visualisasi jaringan bibliometric yang menarik dan mudah dimengerti, menggunakan bantuan dari perangkat lunak VOSviewer (Martínez-López et al., 2020). Alasan menggunakan bantuan perangkat lunak VOSviewer adalah kemampuannya yang secara efisien dapat mengolah kumpulan data yang besar dan menyajikan visualisasi, analisis, dan investigasi yang menarik (van Eck & Waltman, 2010). Selain itu, VOSviewer juga mampu membuat visualisasi peta publikasi, peta penulis, atau peta jurnal berdasarkan jaringan co-citation dan juga dapat membangun peta kata kunci berdasarkan jaringan yang saling berkolaborasi.

Dasar dari kajian literatur bibliometrik ini adalah metode yang sistematis dan eksplisit (Garza-Reyes, 2015) atau metode pemetaan pikiran yang menekankan batas-batas pengetahuan (Tranfield et al., 2003). Dalam melakukan analisis bibliometrik ini, metode penelitian ini mengadopsi lima langkah (Setyaningsih et al., 2018) seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. 5 langkah metode dalam analisis bibliometric
Sumber: Setyaningsih, 2018

Penentuan kata kunci pencarian

Sebelum menentukan kata kunci pencarian terlebih dahulu ditentukan mesin pencariannya dengan menggunakan Publish or Perish dan *Google Scholar* dipilih karena mempunyai basis data terbesar di internet. Penggunaan Publish or Perish sebagai alat bantu perangkat lunak karena terbukti paling efektif untuk mencari artikel di *Google Scholar* (Baneyx, 2008). Pencarian pertama dilakukan dengan menggunakan kata kunci *architectural design, artificial intelligence, machine learning, deep learning* pada perangkat lunak Publish or Perish.

Hasil pencarian awal

Setelah mendapatkan hasil dari pencarian awal yang merupakan campuran dari berbagai tulisan baik bab buku, prosiding, jurnal, artikel, dll, kemudian pencarian ini dikhususkan hanya untuk jurnal yang terbit 10 tahun terakhir, dari tahun 2012-2022. Setelah mendapatkan jurnal berdasarkan pencarian awal tersebut, hasilnya dikompilasi dalam format *Research Information System (RIS)* untuk mendapatkan semua informasi penting pada artikel tersebut seperti judul makalah, nama penulis, afiliasi, abstrak, kata kunci, dan referensi.

Penyempurnaan hasil pencarian

Artikel yang sesuai dan diindeks dalam database GS disaring. Prosiding, surat kabar, buku, resensi buku, dan bab buku tidak termasuk dalam data ini. Dalam penelitian ini hanya artikel jurnal saja yang dipilih. Setelah itu dilakukan cek kembali terhadap artikel jurnal tersebut dan dilakukan perbaikan yang diperlukan agar sesuai, dan kemudian file tersebut disimpan dalam bentuk format RIS. Data RIS tersebut diimpor ke perangkat lunak bibliografi Mendeley untuk digunakan sebagai Analisa data lebih lanjut

Menyusun statistik data awal

Setelah penyempurnaan data-data tersebut terkumpul dan disimpan dalam bentuk RIS, selanjutnya adalah memeriksa dan menambahkan komponen artikel jika ditemukan data yang kurang lengkap seperti tahun terbit, volume, nomor, halaman, dll. Untuk dapat mengklasifikasi berdasarkan tahun, sumber publikasi dan penerbit maka dilakukan analisis data-data tersebut.

Analisis data

Dalam melakukan analisis bibliometric pada penelitian ini digunakan perangkat lunak Publish or Perish (PoP) (Baneyx, 2008). Sedangkan untuk menganalisis dan memvisualisasikan jaringan bibliometric, digunakan perangkat lunak VosViewer (Martínez-López et al., 2020). VosViewer mempunyai kemampuan untuk membuat pekerjaan lebih efisien saat menggunakan data yang besar sekaligus menyediakan berbagai visualisasi, analisis, dan investigasi yang menarik untuk dilihat (van Eck & Waltman, 2010) sehingga membuat perangkat lunak ini dipilih dalam penelitian ini. Vosviewer juga dapat membuat peta publikasi, peta penulis, atau peta jurnal berdasarkan jaringan co-citation atau untuk membangun peta kata kunci berdasarkan jaringan Bersama.

DATA, DISKUSI, DAN HASIL/TEMUAN

Peneitian ini mengambil basis data dari *Google Scholar* dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Publish or Perish*. Pada perangkat lunak PoP terserbut dimasukkan kata kunci seperti *Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning*. Setelah itu data tersebut dianalisis menggunakan perangkat lunak *VOSviewer* untuk memvisualisasikan peta bibliometrik. Perangkat lunak ini menampilkan pemetaan bibliometrik

pada tiga visualisasi yang berbeda yaitu, visualisasi jaringan, visualisasi overlay, dan visualisasi densitas.

Visualisasi publikasi dan sitasi menggunakan VOSviewer

Pada pencarian kata kunci awal dengan menggunakan perangkat lunak *Publish or Perish*, ditemukan data sebanyak 226 artikel termasuk buku, prosiding, website artikel, dll dari tahun 2012 – 2022 dengan 4802 sitasi (480,2 sitasi/tahun). Setelah dilakukan penyempurnaan dengan hanya menyaring artikel jurnal kemudian hanya terdapat 75 artikel jurnal dengan data kutipan juga berubah menjadi 519 sitasi (57,67 sitasi/tahun). Perbandingan data metrik dari pencarian awal dan pencarian yang telah disempurnakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel perbandingan pencarian awal dan pencarian yang telah disempurnakan

Metrics Data	Initial Search	Refinement Search
Source	Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning	Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning
Publication year	2012 - 2022	2012 - 2022
Paper	226	75
Citations	4802	519
Cites/year	480.20	57.67
Cites/paper	21.75	6.92
Author/paper	2.07	2.60
h_index	22	11
g_index	68	20
hl_norm	17	8
hl_annual	1.7	0.89

Selanjutnya menyajikan kontribusi dari artikel yang paling relevan dalam penelitian ini dengan cara mengambil 75 artikel dengan kata kunci "*Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning*" yang memiliki nilai sitasi tertinggi (10 artikel teratas yang dikutip) seperti tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Tabel peringkat 10 artikel terbaik berdasarkan jumlah sitasi

No	Publication year	Author	Title	Journal	Cites	Publisher
1	2015	Krieg, O D; Schwinn, T; Menges, A; Li, J M	Biomimetic lightweight timber plate shells: computational integration of robotic fabrication, architectural geometry and structural design	Advances in Architectural Geometry	71	Springer
2	2018	Tamke, Martin; Nicholas, Paul; Zwierzycki, Mateusz	Machine learning for architectural design: Practices and infrastructure	International Journal of Architectural Computing	52	Sage
3	2019	Li, Z	An ANN-based fast building energy consumption prediction method for complex architectural form at the early design stage	Building Simulation	48	Springer
4	2019	Wortmann, T	Genetic evolution vs. function approximation: Benchmarking algorithms for architectural design optimization	Journal of Computational Design and Engineering	38	Oxford Academic
5	2019	Newton, David	Generative Deep Learning in Architectural Design	Technology Architecture and Design	27	Routledge
6	2014	He, B; Ye, M; Yang, L Fu, X P; Mou, B; Griffy-Brown, C	The combination of digital technology and architectural design to develop a process for enhancing energy-saving: The case of Maanshan China	Technology in Society	26	Elsevier
7	2018	Sönmez, N O	A review of the use of examples for automating architectural design tasks	CAD Computer Aided Design	22	Elsevier
8	2021	Zou, Y; Zhan, Q Xiang, K	A comprehensive method for optimizing the design of a regular architectural space to improve building performance	Energy Reports	16	Elsevier
9	2018	Dooren, E Van Merriënboer, J Van	Architectural design education: In varietate unitas	Technology and Design	15	Springer
10	2020	Płoszaj-Mazurek, M	Methods to optimize carbon footprint of buildings in regenerative architectural design with the use of machine learning, convolutional neural network, and parametric design	Energies	12	MDPI

Terdapat 8 penerbit terbaik berdasarkan jumlah artikel yang diterbitkan yang merupakan hasil dari 75 artikel jurnal yang telah disempurnakan dengan kata kunci "*Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning*" yang di presentasikan pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Tabel peringkat 8 penerbit berdasarkan jumlah yang diterbitkan sesuai topik tersebut

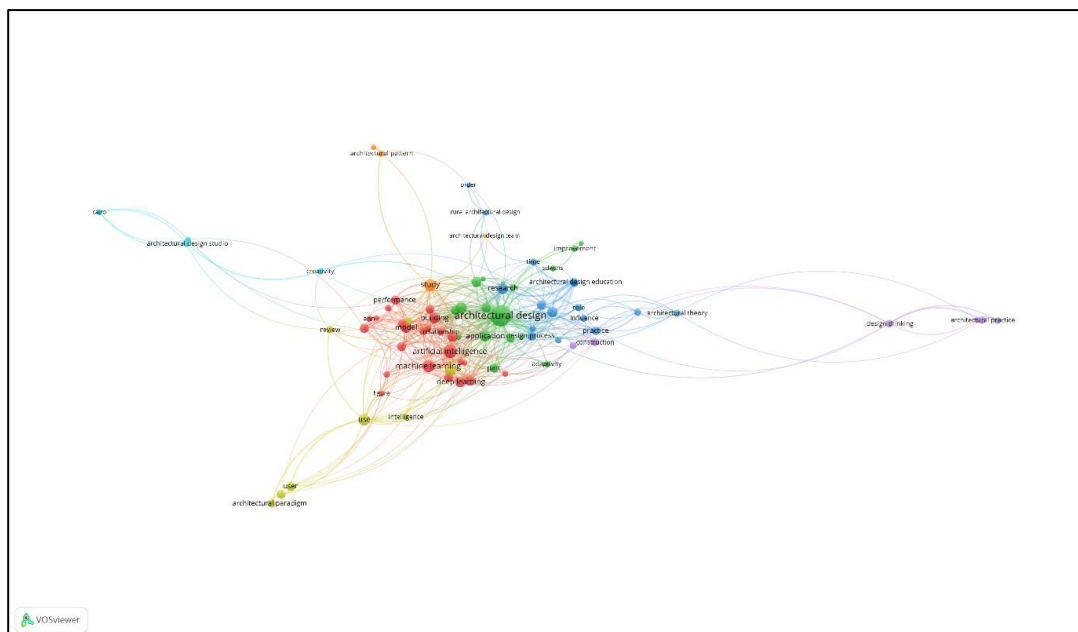
No	Publisher	Articles
1	Springer	16
2	MDPI	10
3	Elsevier	9
4	Taylor & Francis	7
5	arXiv	2
6	Cambridge	2
7	Hindawi	2
8	Ital Publication	2

Topik yang cukup baru dalam dunia arsitektur ini menyebabkan masih belum terlalu banyak pengelola jurnal yang menerima topik tersebut. Berikut di bawah ini merupakan pengelola jurnal yang mempunyai relevansi dengan kata kunci "*Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning*" yang di presentasikan pada tabel 4.

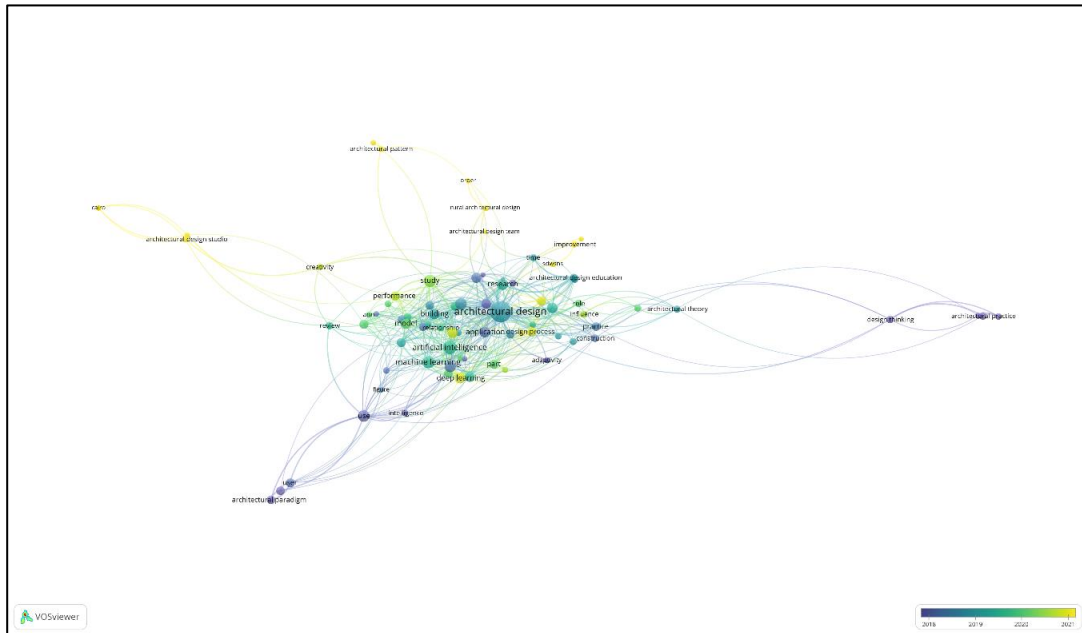
Tabel 4. Tabel peringkat 7 pengelola jurnal terbaik berdasarkan jumlah artikel sesuai topik tersebut

No	Journal	Total Articles	Cites
1	Sustainability	3	17
2	Energies	2	12
3	Automation in Construction	2	10
4	AI EDAM	2	9
5	Buildings	2	8
6	Emerging Science Journal	2	3
7	The Visual Computer	2	1

Tampilan visualisasi jaringan data dengan menggunakan VOSviewer pada data Google Scholar yang di dapat melalui perangkat lunak Publish or Perish terkait kata kunci "*Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning*" yang telah disempurnakan dalam pencarian awal, dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.

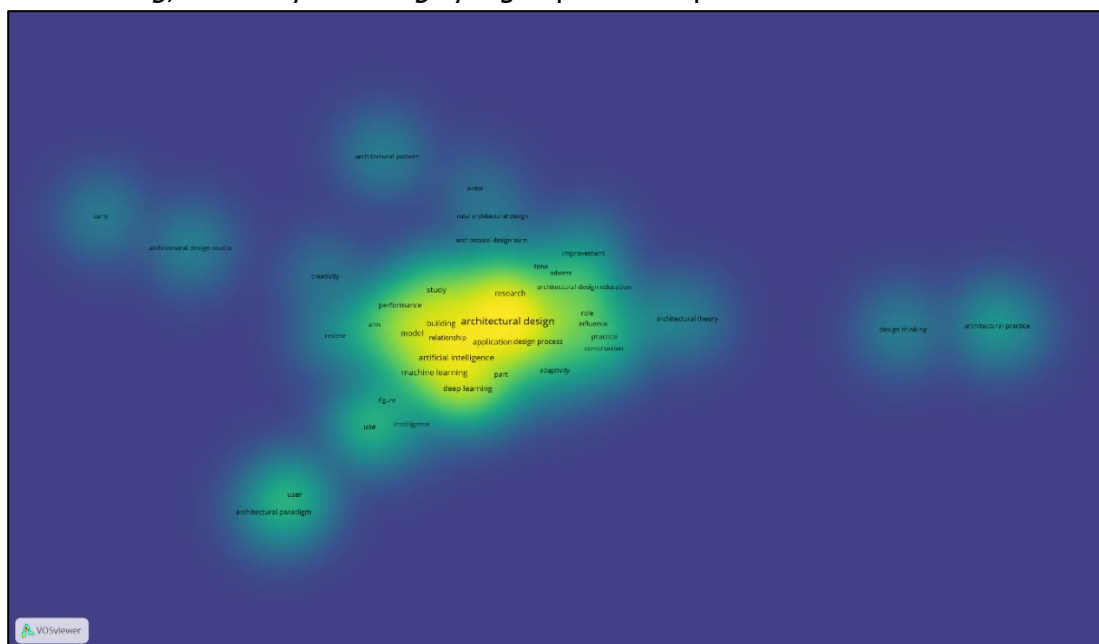
**Gambar 6.** Visualisasi jaringan pada basis data Google Scholar

Pada VOSviewer juga dapat melihat visualisasi *overlay* yang menunjukkan tren yang terjadi dari tahun ke tahun yang berhubungan dengan topik tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Visualisasi *overlay* perubahan waktu penelitian pada basis data Google Scholar

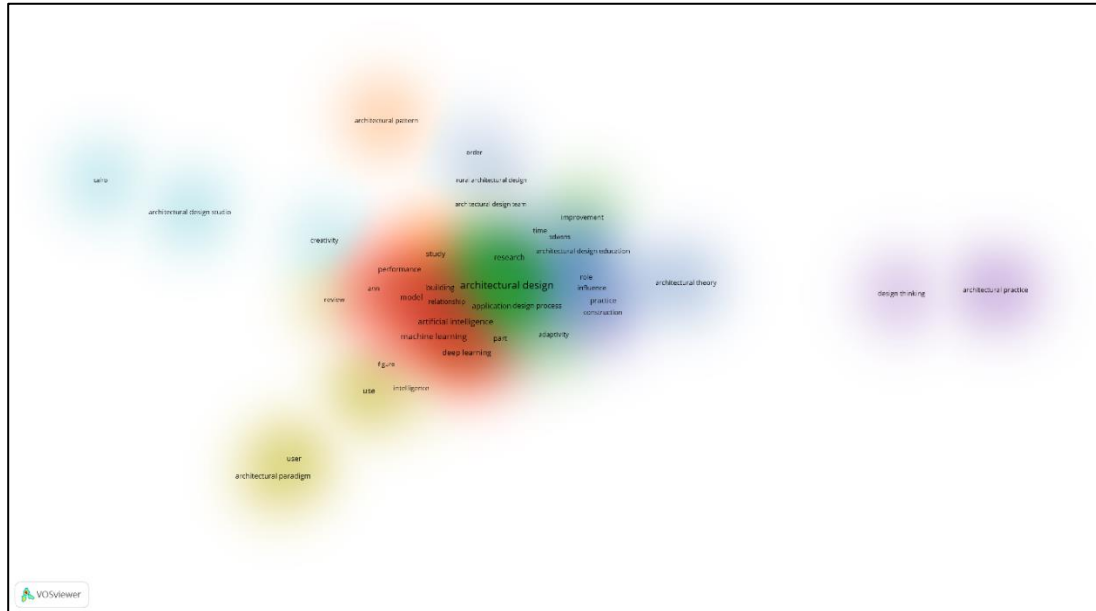
Penggunaan perangkat lunak VOSviewer ini juga dapat melihat visualisasi dari kepadatan suatu penelitian yang terkonsentrasi pada kata kunci "*Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning*" yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Visualisasi kepadatan suatu penelitian pada basis data Google Scholar

Pada perangkat lunak VOSviewer sebagai alat untuk menganalisisnya, hasil pada basis data Google Scholar ini disarikan dari judul, kata kunci, dan abstrak dengan perhitungan lengkap jumlah minimum event yang ditetapkan adalah 2 sehingga ditemukan sebanyak 83 item kata-kata. Item kata-kata yang paling banyak muncul adalah "*architectural design, artificial intelligence, study, approach, machine learning, dan architectural design process*". Setiap item yang mewakili kata kunci ditambahkan, yang ditunjukkan oleh besaran ukuran simpul. Dapat

dikatakan bahwa ukuran simpul menunjukkan frekuensi kemunculan kata kunci bersama. Semakin besar simpul yang terlihat maka semakin banyak kemunculan kata tersebut begitu pula sebaliknya. Terdapat tujuh cluster yang diidentifikasi. Kata kunci yang muncul pada setiap cluster yang mewakili alur "*Architectural Design, Artificial Intelligence, Machine Learning, dan Deep Learning*" yang dapat dilihat pada Gambar 9 dan Tabel 5 di bawah ini.



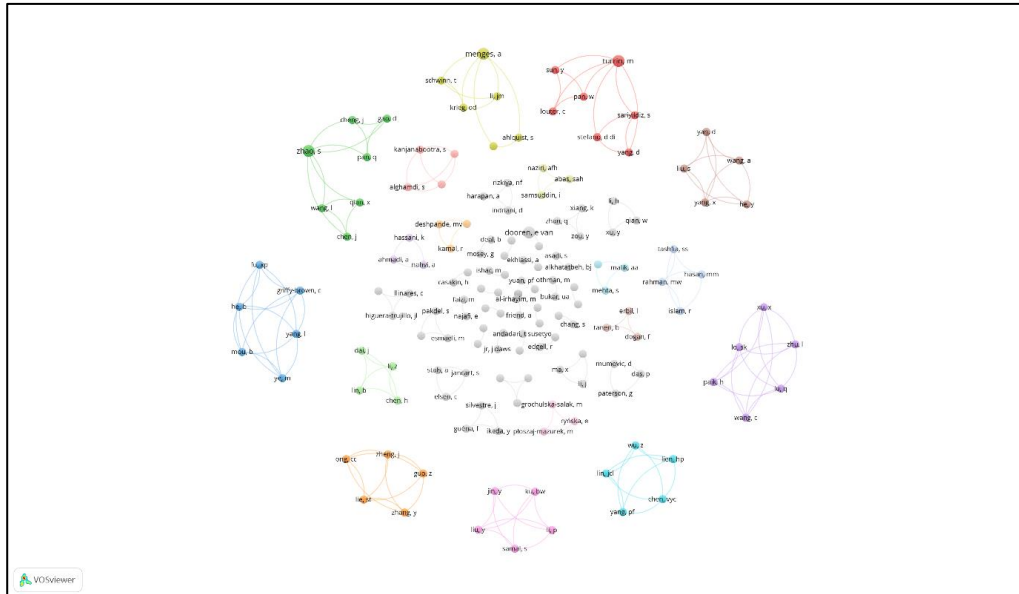
Gambar 9. Visualisasi cluster item kata-kata pada basis data Google Scholar

Tabel 5. Tabel item kata-kata yang merepresentasikan estiap cluster

No	Cluster	Element
1	The first cluster (red)	ability (2), agent (3), algorithm (6), ann (2), architectural geometry (3), Artificial intelligence (16), building (8), consideration (2), deep learning (9), deep neural network (5), energy (3), figure (2), machine (6), machine learning (13), machine learning algorithm (2), machine learning model (3), model (8), performance (5), relationship (3), structure (3), technique (7), topic (4), view (2)
2	The second cluster (green)	adaptivity (2), application (8), approach (11), architectural design (71), architectural design method (4), architecture (5), case (3), early stage (2), improvement (3), intelligent technology (2), modelling (5), part (6), polynomial (2), principle (2), relational prototyping (2), sdwsns (3), technology (9), tinyml (2)
3	The third cluster (blue)	architectural design education (3), architectural design optimization (3), architectural theory (3), biological inspiration (2), design process (5), genetic algorithm (2), influence (2), order (2), paper (6), practice (4), process (6), readability (2), reason (2), research (8), role (3), rural architectural design (3), shorter notion (2), time (3)
4	The fourth cluster (yellow)	architectural design process (10), architectural paradigm (3), example (4), intelligence (2), review (5), use (10), user (4), virtual environment (4)
5	The fifth cluster (purple)	architectural practice (4), construction (3), design thinking (3), epistemology (2), innovation (2), theory (3)
6	The sixth cluster (light blue)	architectural design studios (3), cairo (2), case study (2), creativity (3), day lighting (2)
7	The seven cluster (orange)	architectural design team (2), architectural pattern (4), federated learning system (2), study (12)

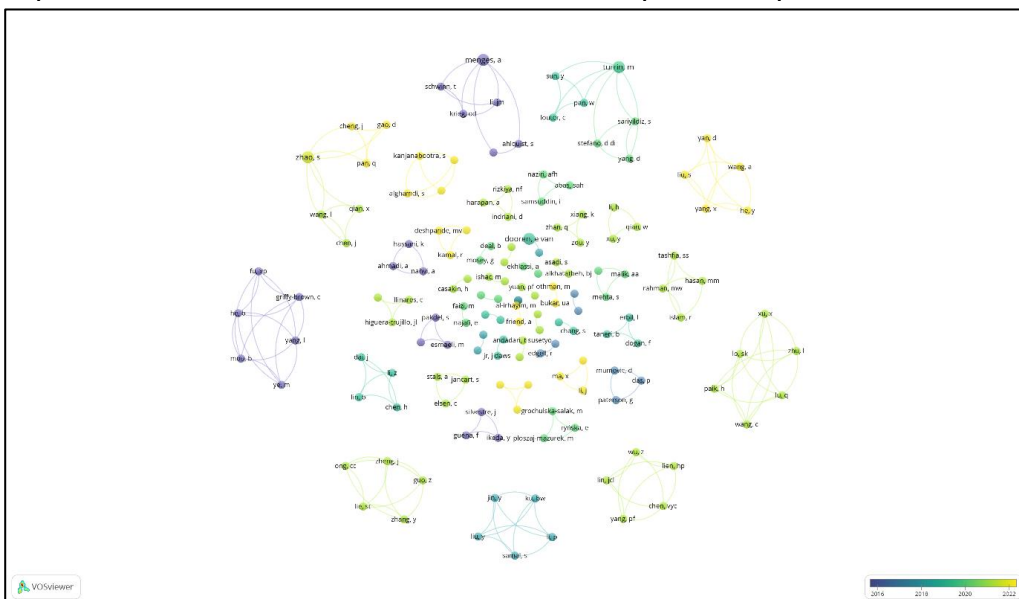
Visualisasi author dan co-author menggunakan VOSviewer

VOSviewer juga dapat menganalisis kolaborasi antar penulis dalam artikel yang sama dan juga jaringan terkait pola kolaborasi antar individu yang dapat dilihat pada Gambar 10. Dalam visualisasi jaringan penulis ini, setiap simpul mewakili penulis dalam koneksi tulisannya dengan yang lain. Dalam jaringan ini, setiap simpul mewakili penulis dalam koneksi tulisannya.



Gambar 10. Visualisasi jaringan antara penulis pada basis data Google Scholar

Dalam suatu penelitian kolaborasi antara penulis dalam penelitian tersebut sangat diharapkan, karena penelitian dapat dilakukan dengan cara kolaborasi antar penulis dan tidak selalu dilakukan secara perseorangan (Rohanda & Winoto, 2019). Untuk itu dalam suatu penelitian diperlukan kolaborasi antar peneliti dan juga instansi baik dari sisi substansi ide penelitian, penggunaan dana, hingga sarana dan prasarana yang dapat membantu penelitian, sehingga dapat kesempatan dalam berbagi ilmu dan teknik tertentu (Widuri & Prasetyadi, 2018). Banyak dimensi berbeda dapat diintegrasikan dalam analisis ini. Visualisasi berikutnya menunjukkan kelompok penulis antara dimensi dan kebaharuan waktu penelitian pada Gambar 11.



Gambar 11. Visualisasi jaringan antara penulis terhadap perubahan waktu pada basis data Google Scholar

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data di atas kontribusi yang paling signifikan dalam penelitian ini adalah jumlah sitasi. Dapat dilihat pada tabel 1, berdasarkan data Google Scholar yang terindeks, kutipan terbanyak adalah dari artikel Krieg, O. D. yang terbit pada tahun 2015. Artikel ini dikutip sebanyak 71 artikel penelitian. Artikel ini membahas tentang bagaimana pengembangan dan konstruksi sistem pelat kayu ringan yang dibuat secara robotik melalui metode desain komputasi integratif yang diinformasikan secara biologis (Krieg et al., 2015).

Selain itu juga dianalisis penerbit yang paling banyak menerbitkan topik tersebut adalah Springer. Dalam 75 artikel yang telah disaring, artikel terbanyak diterbitkan oleh penerbit besar Springer sebanyak 16 artikel yang kemudian diikuti oleh penerbit MDPI sebanyak 10 artikel, Elsevier 9 artikel, Taylor & Francis 7 artikel, kemudian arXiv, Cambridge, Hindawi, dan Ital Publication masing-masing sebanyak 2 artikel. Untuk penerbit lainnya rata-rata adalah 1 artikel setiap penerbit tentang topik ini.

Selain menganalisa jumlah artikel yang diterbitkan setiap penerbit, juga dianalisis berdasarkan keterkaitan jurnal yang didapatkan pada 7 jurnal yang memiliki keterkaitan tentang topik ini. Dapat dilihat pada tabel 4, jurnal yang memiliki jumlah artikel dan sitasi terbanyak adalah Sustainability yang diterbitkan oleh MDPI yang memiliki H index 109 dan terindeks Q1. Artinya bahwa artikel-artikel pada topik tersebut dengan kata kunci *architectural design*, *artificial intelligence*, *machine learning*, *deep learning* tersebar di jurnal-jurnal lainnya.

Hasil analisis dengan menggunakan perangkat lunak VOSviewer tentang visualisasi overlay dan visualisasi kepadatan penelitian digunakan untuk mengidentifikasi tema-tema kunci dalam setiap kajian atau ruang lingkup pengetahuan. Seperti yang terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 bahwa setiap cluster terhubung dengan kata kunci lainnya. Hal ini dapat diindikasikan bahwa pengembangan penelitian tentang hal ini terkait.

Pada perangkat lunak VOSviewer analisa jaringan juga dapat mengidentifikasi otoritas penulis (Bilik et al., 2019). Analisis penulis yang saling berkolaborasi merupakan teknik penelitian bibliometrik yang banyak digunakan yang menyelidiki penulis dalam melakukan penelitian bersama dari bidang tertentu. Pada Gambar 10 di atas dapat dikatakan bahwa visualisasi jaringan yang ditampilkan pada topik ini mempunyai kelompok-kelompok sendiri yang tidak saling berhubungan antara satu kelompok dengan kelompok lainnya.

Menurut visualisasi jaringan dan visualisasi overlay dalam 10 tahun terakhir terdapat kesenjangan penelitian yang menunjukkan arah topik arsitektur dengan menggunakan kecerdasan buatan di masa depan akan semakin meningkat dan cukup penting untuk dikaji lebih lanjut. Seperti yang terlihat pada visualisasi jaringan dan visualisasi overlay menunjukkan masih banyak simpul yang terlihat saling berjauhan antara satu dengan yang lainnya. Oleh karena itu masih banyak simpul-simpul yang dapat dieksplorasi dalam topik tersebut di masa depan. Selain itu diperlukan lebih banyak untuk melakukan kerjasama penelitian agar terjadi keterkaitan penelitian yang lebih dekat dalam topik tersebut.

Setelah melakukan penelitian ini memiliki, peneliti merasa adanya dua keterbatasan. Pertama, penelitian ini umumnya didasarkan pada kumpulan kata kunci yang terbatas yang disebutkan oleh peneliti sehingga berpotensi dibatasi oleh database Google Scholar yang sempit untuk pengumpulan artikel. Kedua, meskipun penelitian ini menggunakan perangkat lunak formal sebagai alat (perangkat lunak Publish or Perish, VOSviewer, Mendeley, dan Microsoft Excel),

tetapi penilaian subjektif penulis masih tetap terjadi dan masih mungkin menyebabkan kesalahan. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk menggunakan sampel yang lebih besar dengan memperluas kata kunci yang digunakan dan database yang lebih mudah diakses. Juga dapat menggunakan perbandingan hasil analisis bibliometrik yang berbeda dan direkomendasikan (seperti BibExcel dan HistCite). Disarankan agar penelitian terkait lebih lanjut memberikan penjelasan yang lebih rinci karena masih terbatasnya penelitian yang membahas arsitektur dengan menggunakan kecerdasan buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alshawhi, M., & Ingirige, B. (2003). Web-enabled project management : an emerging paradigm in construction. *Automation in Construction*, 12, 349–364. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00003-7)
- Atmajayani, R. D. (2018). Implementasi Penggunaan Aplikasi AutoCAD dalam Meningkatkan Kompetensi Dasar Menggambar teknik bagi Masyarakat. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 7(2), 184–189.
- Baneyx, A. (2008). "Publish or Perish" as citation metrics used to analyze scientific output in the humanities: International case studies in economics, geography, social sciences, philosophy, and history. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 56(6), 363–371. <https://doi.org/10.1007/s00005-008-0043-0>
- Bilik, O., Damar, H. T., Ozdagoglu, G., Ozdagoglu, A., & Damar, M. (2019). Identifying trends, patterns, and collaborations in nursing career research: A bibliometric snapshot (1980–2017). *Collegian*. <https://doi.org/10.1016/j.colegn.2019.04.005>
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2014). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *JPMA*, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Burru, M. (2011). *Scripting Cultures: Architectural Design and Programming* (M. Swift (ed.)). John Wiley & Sons. https://books.google.co.id/books?id=P5x2k_E_4CsC
- Chaillou, S. (2019a). Architecture & Style: A New Frontier for AI in Architecture. *Towards Data Science*. <https://towardsdatascience.com/architecture-style-ded3a2c3998f>
- Chaillou, S. (2019b). The Advent of Architectural AI - A Historical Perspective. *Towards Data Science*, 1–17.
- Chan, A. P. C., Scott, D., & Chan, A. P. L. (2004). *Factors Affecting the Success of a Construction Project*. 130(February), 153–155.
- Garza-Reyes, J. A. (2015). Lean and green-a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, 102, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.064>
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2020). Generative adversarial networks. *Communications of the ACM*, 63(11), 139–144. <https://doi.org/10.1145/3422622>
- Gyulai, L., & Katona, V. (2020). A METHODOLOGICAL OVERVIEW OF PARAMETRICISM : LESSONS FROM A CASE STUDY. *Symmetry: Culture and Science*, 31(3), 365–381.
- Krieg, O. D., Schwinn, T., Menges, A., Li, J. M., & ... (2015). Biomimetic lightweight timber plate shells: computational integration of robotic fabrication, architectural geometry and structural design. ... in *Architectural* https://doi.org/10.1007/978-3-319-11418-7_8
- Kyratsis, P. (2020). Computational design and digital manufacturing applications. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 12(1), 82–91.
- Liu, Y.-T. (2006). *The Philosophy of Digital Architecture: The FEIDAD Award*.
- Martínez-López, F. J., Merigó, J. M., Gázquez-Abad, J. C., & Ruiz-Real, J. L. (2020). Industrial marketing

- management: Bibliometric overview since its foundation. *Industrial Marketing Management*, 84, 19–38. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.07.014>
- Oxman, R. (2006). Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3), 229–265. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002>
- Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, 29(2), 99–120. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003>
- Peña, W. M., & Parshall, S. a. (2001). *Problem Seeking* (Fourth). John Wiley & Sons.
- Purcell, P. (1981). How designers think. *Design Studies*, 2(1), 55–56. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(81\)90033-8](https://doi.org/10.1016/0142-694X(81)90033-8)
- Rohanda, R., & Winoto, Y. (2019). *Analisis Bibliometrika Tingkat Kolaborasi , Produktivitas Penulis , Serta Profil Artikel Jurnal Kajian Informasi & Perpustakaan Tahun 2014-2018*. June. <https://doi.org/10.18326/pustabiblia.v3i1.1-16>
- Salehi, P., Chalechale, A., & Taghizadeh, M. (2020). Generative Adversarial Networks (GANs): An Overview of Theoretical Model, Evaluation Metrics, and Recent Developments. *ArXiv*.
- Salingaros, N. (2020). *Complexity in Architecture and Design*. January 2014. <https://doi.org/10.4148/2378-5853.1527>
- Schumacher, P. (2011). The Autopoiesis of Architecture, Volume I: A New Framework for Architecture. In *John Wiley & Sons Ltd: Vol. I* (Issue 9).
- Schumacher, P. (2016). *Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century* (P. Schumacher (ed.)). Wiley. <https://books.google.co.id/books?id=qxORCgAAQBAJ>
- Schumacher, P. (2020). Parametricism : The Next Decade. *A+u Architecture and Urbanism*, 595, 1–12.
- Setyaningsih, I., Indarti, N., & Jie, F. (2018). Bibliometric analysis of the term "green manufacturing." *International Journal of Management Concepts and Philosophy*, 11(3), 315. <https://doi.org/10.1504/ijmcp.2018.093500>
- Succar, B. (2009). Automation in Construction Building information modelling framework : A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14, 207–222. <https://doi.org/10.1080/16258312.2014.11517339>
- Tripathi, V. (2017). Storing Digital Data – A Perennial Challenge. *NIScPR Online Periodicals Repository*, July, 40–43. <https://doi.org/0036-8512>
- 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>
- van Nunen, K., Li, J., Reniers, G., & Ponnet, K. (2018). Bibliometric analysis of safety culture research. *Safety Science*, 108(June), 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.011>
- Venturi, R., Drexler, A., Stierli, M., Scully, V., Museum of Modern Art (New York, N. Y. ., Scully, V., Art, M. M., Arts, G. F. for A. S. in the F., Brownlee, D. B., & Art, T. M. of M. (1977). *Complexity and Contradiction in Architecture* (A. Drexler (ed.); illustrate). Museum of Modern Art. <https://books.google.co.id/books?id=dyPusXZQ6YIC>
- Wang, P. (2018). *Theories of Artificial Intelligence — Meta-Theoretical considerations*. January 2012. <https://doi.org/10.2991/978-94-91216-62-6>
- Widuri, N. R., & Prasetyadi, A. (2018). *Tingkat kolaborasi , produktivitas penulis dan artikel metrik pada Jurnal Mechatronics , Electrical Power , and Vehicular Technology*. 14(1). <https://doi.org/10.22146/bip.33408>