

## TEKNOLOGI 3D PRINTING DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI

Sunaryo Wongso Suharto<sup>1</sup>, Firman Sarifudin<sup>2</sup>, dan Fuk Jin Oei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia  
*sunaryo.327231007@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia  
*firman.327231014@stu.untar.ac.id*

<sup>3</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta, Indonesia  
*fukjin.untar@gmail.com*

Masuk: 08-11-2023, revisi: 29-12-2023, diterima untuk diterbitkan: 24-01-2024

### ABSTRACT

*This research is an important review in the context of the development of 3D printing technology in the construction industry. Some key points to take away from the research include a clear recognition of the impact of 3D printing technology on architecture, noting that this technology has opened up new opportunities in terms of design complexity, detail and materiality that were previously impossible to achieve. This research uses a systematic approach in reviewing literature related to 3D printing technology in the construction industry. Data was used to search for journal articles with Publish or Perish starting from 2014-present, in order to ensure diversity of data sources. The use of bibliometric analysis (VOSviewer) helps in identifying the main trends in research on 3D printing in the construction industry. This includes the annual number of articles, prominent authors, and co-author networks. This analysis helps provide an overview of developments and collaborations in this field. Content analysis of selected articles provides further insight into specific themes discussed in this literature, to understand the context and trends within the topic in greater depth. Categorize 3D printing technologies in architecture based on system scale. This classification makes it possible to understand the various technical aspects involved. Outlines the challenges faced and future directions in 3D printing research in architecture. This is important to help guide further research and innovation in the construction industry. Thus, this research provides a comprehensive view of the latest developments in 3D printing technology in the construction industry and can be a valuable source of information for professionals and researchers in this field. In addition, bibliometric analysis and content analysis help identify important trends and themes in the literature, which can guide future research and development in this field.*

*Keywords: 3D Printing; construction; Bibliometric Analysis*

### ABSTRAK

Penelitian ini merupakan tinjauan penting dalam konteks perkembangan teknologi *3D printing* pada industri konstruksi. Beberapa poin penting yang dapat diambil dari penelitian ini termasuk pengakuan yang jelas terhadap dampak teknologi *3D printing* terhadap arsitektur, mengingat bahwa teknologi ini telah membuka peluang baru dalam hal kompleksitas desain, detail, dan materialitas yang sebelumnya tidak mungkin dicapai. Penelitian ini menggunakan pendekatan sistematis dalam mengkaji literatur terkait teknologi *3D printing* pada industri konstruksi. Data digunakan untuk pencarian artikel jurnal dengan *Publish or Perish* mulai tahun 2014-sekarang, guna menjamin keberagaman sumber data. Penggunaan analisis bibliometrik (*VOSviewer*) membantu dalam mengidentifikasi tren utama dalam penelitian *3D printing* di industri konstruksi. Ini termasuk jumlah artikel tahunan, penulis terkemuka, dan jaringan rekan penulis. Analisis ini membantu memberikan gambaran perkembangan dan kolaborasi di bidang ini. Analisis isi artikel terpilih memberikan wawasan lebih lanjut mengenai tema spesifik yang dibahas dalam literatur ini, untuk memahami konteks dan tren dalam topik secara lebih mendalam. Kategorikan teknologi *3D printing* dalam arsitektur berdasarkan skala sistem. Klasifikasi ini memungkinkan untuk memahami berbagai aspek teknis yang terlibat. Menguraikan tantangan yang dihadapi dan arah masa depan dalam penelitian *3D printing* di bidang arsitektur. Hal ini penting untuk membantu memandu penelitian dan inovasi lebih lanjut dalam industri konstruksi. Dengan demikian, penelitian ini memberikan pandangan komprehensif tentang perkembangan terkini teknologi *3D printing* di industri konstruksi dan dapat menjadi sumber informasi berharga bagi para profesional dan peneliti di bidang ini. Selain itu, analisis bibliometrik dan analisis isi membantu mengidentifikasi tren dan tema penting dalam literatur, yang dapat memandu penelitian dan pengembangan di masa depan di bidang ini.

Kata kunci: *3D Printing*; Konstruksi; Analisis Bibliometrik

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada saat ini berkembang dengan sangat cepat. Dalam industri konstruksi banyak diperkenalkan teknologi inovatif, seperti contohnya fabrikasi digital, untuk memenuhi kebutuhan pasar desain arsitektur akan fleksibilitas, kompleksitas mengikuti perkembangan dan teknologi, baik dari sisi material maupun peralatan pendukungnya. Perkembangan teknologi menawarkan banyak kemudahan dan keunggulan dalam industri konstruksi ini, dari segi biaya, mutu dan waktu jika dikomparasikan maka yang ditawarkan oleh perkembangan teknologi bisa dikatakan lebih unggul. Konsekuensinya, bidang ini mengharuskan semua yang terlibat dapat terus meningkatkan produktifitas dan kreatifitas agar dapat mendorong kesetaraan, keberlanjutan dan inklusifitas serta meningkatkan pendidikan.

Salah satu bentuk perkembangan teknologi dalam industri konstruksi ini adalah *3D printing* untuk pembangunan rumah tapak (*landed*). Oleh karena itu, makalah ini akan membahas teknologi fabrikasi digital modern dalam industri konstruksi terutama pada bidang arsitektur yang berfokus pada teknologi *3D printing* untuk pembangunan. Penerapan teknologi ini dapat mengurangi waste material, kebutuhan bahan yang bisa dioptimalkan dan lebih berkelanjutan jika dibandingkan dengan sistem konvensional sampai saat ini.

Teknologi *3D printing* adalah pembuatan objek dengan proses manufaktur aditif dengan meletakkan lapisan material berlapis secara otomatis. Dimulai dari proses pembuatan model 3 dimensi menggunakan komputer kemudian diinput dan dipecah menjadi beberapa lapisan dan diterapkan secara berturut-turut sampai membentuk objek. Pada perkembangannya teknologi ini sudah banyak, digunakan dalam bidang kedokteran, kedirgantaraan hingga dalam industri konstruksi. (Saleh Abd Elfatah, 2019)

Teknologi *3D printing* ini berawal pada tahun 1981 oleh Dr. Hideo dari Institut Penelitian Industri kota Nagoya, awalnya mengembangkan percetakan lapis padat *fotopolimer* yang cepat kering yang mengikuti bentuk suatu model yang dinamai *Rapid Prototyping (RP)* (Alzarrad & Elhouar, 2019).

Pada tahun 1984, Charles Hull mematenkan *Stereolithography (SLA)* yaitu teknik memanfaatkan reaksi antara *ultraviolet* dan *photopolymer* cair. Setelah melalui berbagai proses, sampai pada tahun 2005, ASTM mengakui proses menggabungkan dua material untuk membuat objek model 3D dengan istilah *Additive Manufacturing (AM)*. (El-Sayegh et al., 2020).

Menurut (Chung et al., 2021) penelitian tentang penggunaan *3D printing* meningkat selama sepuluh tahun terakhir. Menunjukkan akan minatnya industri konstruksi untuk menerapkan dan mengembangkan teknologi *3D printing* ini. Meskipun banyak penelitian teknologi *3D printing*, namun masih kurang memiliki sistematis yang memberikan gambaran umum tentang penerapan teknologi ini. Beberapa penelitian hanya berfokus pada material dan ada juga yang hanya berfokus pada kemungkinan penerapan saja. Tujuan *systematic literature review* ini akan merangkum pencapaian dan tren perkembangan dalam identifikasi, hasil ilmiah, inovasi serta peluang penerapan di masa depan.

## 2. MATERIAL DAN METODE PENERAPAN

Metode SRL ini adalah untuk melakukan identifikasi, pemilihan dan evaluasi literatur untuk mendapatkan prespektif baru sesuai dengan bahasan yang diteliti. Tahapan-tahapan penelitian meliputi pencarian data, pemilihan data dan analisis data dengan menggunakan *keyword* tertentu yang berkaitan sehingga didapatkan tema pembahasan yang sesuai dengan penelitian. Aplikasi yang digunakan untuk pencarian menggunakan *Publish Or Perish (PoP)* dengan *google scholar*. Dari semua jurnal yang didapatkan, kemudian dievaluasi berdasarkan judul dan abstrak yang sesuai dan relevan. Sampel-sampel literatur yang didapatkan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif.

### Pencarian data

Pencarian data dengan bantuan aplikasi *Publish or Perish (PoP)* dengan memilih *google scholar* dengan *keyword* “*3D Printing*” dan “*Construction*”. Hasil Pencarian sebagaimana pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter pencarian jurnal

Parameter	Nilai
Sumber Informasi	<i>Google scholar</i>
Strategi pencarian	Kata kunci (“ <i>3D Printing</i> ” and “ <i>Construction</i> ”)

Ruang lingkup jurnal meliputi publikasi ilmiah dan jurnal yang relevan dan dibatasi dari tahun 2014 – sekarang dan tidak termasuk artikel yang masih dalam tahap penerbitan. Karena teknologi ini termasuk baru dan penelitian terkait *3D printing* ini juga relative baru, maka dengan pertimbangan ini diambil tahun yang dekat dengan penelitian

*Systematic Literature Review (SLR)*. Jurnal penelitian yang didapatkan seluruhnya adalah dalam bahasa Inggris. Hasil data yang didapatkan kemudian dipersempit.

### Seleksi data

Setelah penelusuran awal dilakukan, maka dilanjutkan dengan menyaring makalah yang tidak memadai, pengulangan dan daftar yang tidak dapat diakses hingga didapatkan 21 makalah yang kemudian ditinjau ke jurnal aslinya dan dipelajari untuk memastikan makalah sudah sesuai dan relevan. Yang dilakukan dalam menyaring makalah adalah dengan menilai untuk kelayakan bahan literasi, mengkaji dan memastikan terbentuknya sampel literasi yang sesuai, relevan dan berkualitas.

### Analisis data

Data yang didapatkan dari PoP dianalisis menggunakan bibliometrik kuantitatif dengan bantuan *software VOSviewer*. *VOSviewer* mampu mengolah data bibliometrika menjadi sebuah bentuk peta. Dengan memperhatikan peta network visualization, dapat dianalisis kluster-kluster literatur. Dengan tampilan peta overlay visualization, dapat dilihat sejarah atau hubungan antar literatur dan dengan tampilan peta density visualization dapat diambil peluang atau topik terkait penelitian selanjutnya (Alfitman & Widodo, 2019).

Klusterisasi atau analisis kluster adalah metode yang digunakan dalam visualisasi jaringan untuk mengidentifikasi kelompok entitas yang berkaitan erat berdasarkan pola hubungan di antara kata kunci. Pada *VOSviewer*, pengelompokan dilakukan menggunakan *algoritma modularity-based clustering*. (Muhammad & Triansyah, 2020).

## 3. HASIL ANALISIS

### Analisis bibliometrik

Dari hasil pencarian melalui PoP didapatkan 1000 artikel sesuai kata kunci “3D Printing” dan “Construction”, dari hasil yang didapatkan tersebut kemudian disimpan dalam format *As Ris/ref Manager*. Langkah selanjutnya adalah dengan membuka *software VOSviewer*, kemudian klik *create*, lalu pilih *file* yang telah disimpan dalam format *As Ris/ref Manager*. *VOSviewer* akan menampilkan pilihan *minimum number of occurrences* sebanyak 10 yang artinya kata yang ditampilkan adalah sebanyak 10 kali dari jumlah artikel yang diolah. Apabila minimum number diperkecil, maka kata yang ditampilkan ikut berubah. Dipilih *minimum number* 3, sehingga ditampilkan sebanyak 109 kata, kemudian klik *next*. Pada *create map* yang muncul terdapat banyak kata atau kalimat yang didapatkan pada *verify selected terms*, sehingga perlu dilakukan seleksi kata atau kalimat yang relevan dan tidak terjadi pengulangan, kemudian *finish*. Hasil analisis bibliometrik dengan *VOSviewer* dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

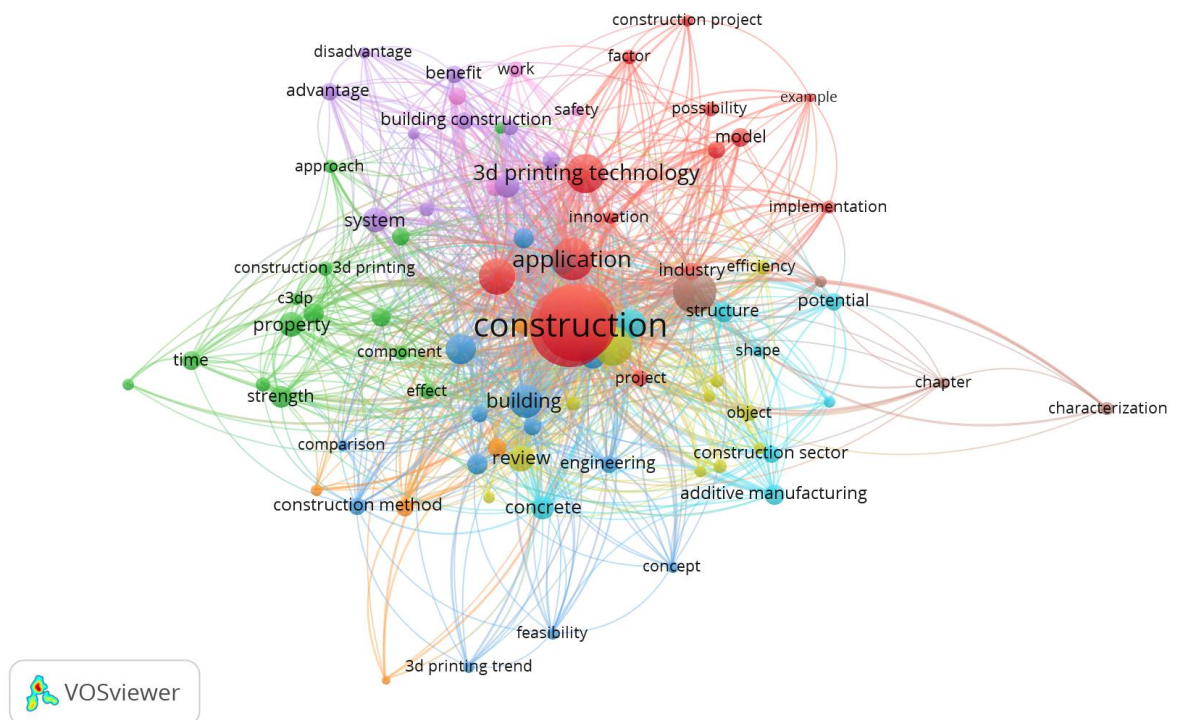
Tabel 2. Hasil visualisasi *VOSviewer*

Kata Kunci	Kejadian	Relevansi
<i>construction</i>	153	0.0869
<i>3D Printing</i>	144	0.0936
<i>technology</i>	44	0.1528
<i>application</i>	40	0.1227
<i>3D Printing technology</i>	34	0.1474
<i>printing</i>	34	0.2292
<i>construction industry</i>	32	0.1902
<i>building</i>	24	0.2095
<i>paper</i>	20	0.2924
<i>development</i>	19	0.4167
<i>research</i>	17	0.2128
<i>review</i>	16	0.2368
<i>challenge</i>	15	0.2732
<i>concrete</i>	15	0.4611
<i>system</i>	15	0.5896
<i>analysis</i>	14	0.387
<i>property</i>	13	0.8493

Tabel 2 (lanjutan). Hasil visualisasi VOSviewer

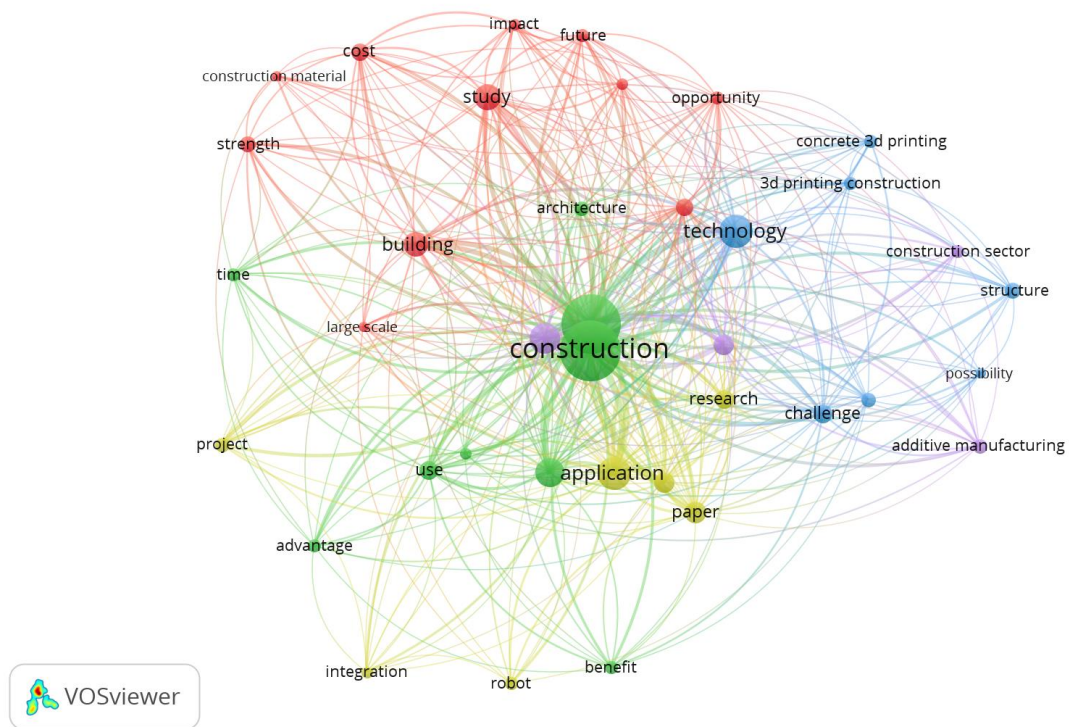
Kata Kunci	Kejadian	Relevansi
<i>strength</i>	12	1.503
<i>process</i>	11	15.303
<i>opportunity</i>	10	0.517

Hasil olah data dengan VOSviewer didapatkan visualisasi jaringan seperti ditampilkan pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Visualisasi jaringan kemunculan kata kunci dan kluster dalam literasi yang dianalisis

Dari visualisasi jaringan sesuai kata kunci dan number minimal, selanjutnya dibuat ulang kembali dengan menyesuaikan minimum numbertnya menjadi 5 dan memaksimalkan kata menjadi 39. Hasil visualisasi jaringan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Visualisasi jaringan kemunculan kata kunci dan kluster dalam literasi yang dianalisis setelah dilakukan penyesuaian

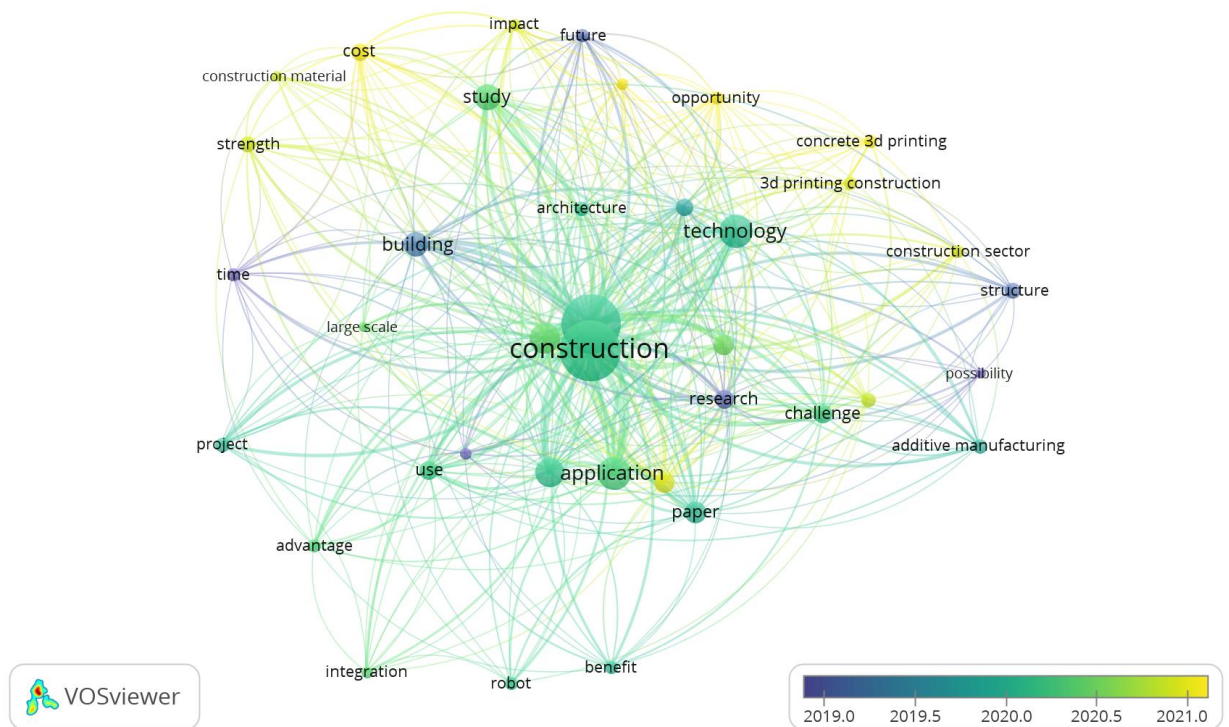
### Hasil analisis bibliometrik

Dari hasil visualisasi, kemudian klik item, sehingga diketahui terdapat 5 kluster yang berarti ada satu kluster yang beririsan dan berdekatan berdasarkan hasil visualisasi. Kemudian diklusterkan sesuai warna visualisasi jaringan. Hasil pembagian kluster dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klusterisasi berdasarkan warna

KLASTER	MERAH	HIJAU	BIRU
1	214	39	40
2	44	160	44
3	31	119	180

Sedangkan untuk visualisasi *overlay*, bisa diketahui bahwa warna yang cerah menunjukkan tema artikel dengan tahun penerbitan yang lebih baru jika dibandingkan dengan warna yang lebih gelap. Visualisasi jaringan *overlay* seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Visualisasi jaringan overlay

Jika ingin memperlihatkan judul tema, bisa juga diatur pada bar di *software* sesuai keinginan dan kebutuhan. Dari semua sampel yang telah divisualisasikan diambil 20 artikel yang dianggap paling relevan dengan tema yang akan dilakukan penelitian. Artikel yang diambil pada penelitian seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pencarian jurnal yang relevan dari artikel 3D printing

No.	Authors	Title	Year
1	RH Khonsari, J Adam, M Benassarou, H Bertin...	...-house 3D Printing: why, when, and how? Overview of the national French good practice guidelines for in-house 3D-printing in maxillo-facial surgery, stomatology, and ...	2021
2	A Iuliano, E van der Wal...	Coupling 3D Printing and novel replica molding for in house fabrication of skeletal muscle tissue engineering devices	2020
3	AN Zeller, E Goetze, DGE Thiem, AK Bartella...	A survey regarding the organizational aspects and quality systems of in-house 3D Printing in oral and maxillofacial surgery in Germany	2022
4	L Brognara, M Fantini, K Morellato, G Graziani...	Foot orthosis and sensorized house slipper by 3D Printing	2022
5	MS Jawad, M Bezbradica, M Crane...	AI cloud-based smart manufacturing and 3D Printing techniques for future in-house production	2019
6	R Plarre, A Zocca, A Spitzer, S Benemann...	Searching for biological feedstock material: 3D Printing of wood particles from house borer and drywood termite frass	2021
7	R Kuehle, M Kuebler, J Fuchs, F Weichel...	The value of prebent reconstruction plates and in-house 3D Printing	2023
8	L Bergeron, M Bonapace-Potvin...	In-house 3D model printing for acute cranio-maxillo-facial trauma surgery: process, time, and costs	2021

Tabel 4 (lanjutan). Hasil pencarian jurnal yang relevan dari artikel *3D printing*

No.	Authors	Title	Year
9	L Prasittisopin, N Taweekarn, C Chuaysiri...	<i>Printing and fabrication processes of curvature single-layered wall house printed by 3D extrusion printer ... scapular free flap for hemimandibular</i>	2018
10	KS Ettinger, AE Alexander, JM Morris, K Arce	<i>reconstruction: nuances of the technique streamlined by in-house virtual surgical planning and 3D Printing for a severely vessel ...</i>	2020
11	A Hoffman, S Nitecki, A Engel, T Karram...	<i>In House Enhanced 3D Printing of Complex AAA for EVAR Treatment Planning and Preoperative Simulation</i>	2014
12	WWMP Pijnappel, JC de Greef, V Saggiomo	<i>Coupling 3D Printing and Novel Replica Molding for In House Fabrication of Skeletal Muscle Tissue Engineering Devices</i>	2020
13	HPS Naganaboyina, P Nagaraju, SY Sonaye...	<i>In-house processing of Carbon Fiber Reinforced Polyetheretherketone (CFR-PEEK) 3D printable filaments and fused filament fabrication-3D Printing of CFR-PEEK ...</i>	2023
14	G Trisolino, L Frizziero, GM Santi...	<i>VIRTUAL SURGICAL PLANNING, SIMULATION AND 3D Printing USING IN-HOUSE DESK WORKSTATION: PRELIMINARY EXPERIENCE IN PAEDIATRIC ...</i>	2022
15	JY Tan, A Ahmed	<i>In-House Fabrication of Solenoid Inductor and Multilayer Metal Core Using 3D Printing, Selective Electroless Plating, Electroplating, and Pressing</i>	2021
16	M Léonard Bergeron, M Bonapace-Potvin, F Bergeron	<i>In-house 3D Model Printing for Acute Cranio-maxillo-facial Trauma Surgery: Process, Time, and Costs</i>	2021
17	Y Zhang, D Kulhavy, J Gerland, IK Hung, D Unger...	<i>Evaluating Different UAS Flight Methods for 3D Model Generation and Printing of a Tornado Destroyed Cultural Heritage: Caddo House in Texas</i>	2023
18	CM Swanson, A Klarer, JA James...	<i>Opportunities and Obstacles in the Development of an in-House 3D Printing Program</i>	2023
19	E Via	<i>3D Printing: Opportunities, Challenges, and Policy Implications of Additive Manufacturing, Highlights of a Forum Convened by the Comptroller General of ...</i>	2015
20	H Xun, S Clarke, N Baker, AL Wong...	<i>Method, Material and Machine: In-House 3D Printing for the Plastic Surgeon</i>	2020

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dibahas ringkasan dan pemetaan penelitian terkait dengan teknologi *3D printing* dalam industri konstruksi dan juga tantangan penelitian kedepan seiring dengan keterbatasan yang ada.

Menurut Žujović et al. (2022) Teknologi digital dan otomatisasi yang dipercepat akan sangat berdampak pada cara kita merancang dan membangun arsitektur, tetapi ini juga merupakan hal baru sistem produksi dengan dampak ekonomi, sosial, dan politik yang memerlukannya perdebatan lebih lanjut.

Menurut El-Sayegh et al. (2020) Teknologi *3D printing* berpotensi merevolusi industri konstruksi. Seiring dengan kemajuan Industri 4.0, teknologi ini mempunyai potensi yang tinggi untuk menuju ke arah yang lebih efisien untuk konstruksi berkelanjutan. Tantangan utamanya adalah mengadaptasi sistem robot ke skala besar proyek konstruksi seperti villa dan gedung bertingkat. Keterbatasan teknologi *3D printing*, kualitas produk akhir, dan proses kompleksitas konstruksi adalah alasan utama rendahnya tingkat adopsi teknologi *3D printing* dalam konstruksi.

Ringkasan kuantitas biaya, durasi & emisi CO<sub>2</sub> pada *Precast Concrete (PC)* dan beton *3D printing* antara lain adalah unit *3D printing* memiliki bobot yang hampir sama dengan unit PC, analisis biaya material menunjukkan bahwa *3D printing* 44% lebih mahal dibandingkan PC, analisis biaya konstruksi menggambarkan tren yang berlawanan dengan *3D printing* yang lebih murah dibandingkan PC sebesar 11%, total biaya kumulatif material dan konstruksi didapatkan *3D printing* lebih mahal 5% dibandingkan dengan PC, analisis durasi konstruksi menunjukkan bahwa *3D printing*

memerlukan jam kerja 34% lebih sedikit daripada PC dan perhitungan emisi CO<sub>2</sub> menunjukkan bahwa *3D printing* sebesar 1% lebih efisien jika dibandingkan PC. (F & Batikha, 2021).

Menurut Alami et al. (2023) Teknologi *3D printing* menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan metode konstruksi konvensional dalam hal biaya dan konsumsi air, dengan potensi penghematan hingga 78% dan 60% dari biaya terkait biaya dengan konstruksi konvensional dan tenaga kerja. Selain itu, teknologi *3D printing* memiliki berpotensi mengurangi pemanfaatan energi global sebesar 5% pada tahun 2025, menjadikannya solusi yang menjanjikan untuk mencapai target keberlanjutan. Dampak perubahan iklim yang ditimbulkan pada teknologi ini lebih rendah jika dibandingkan dengan metode konstruksi konvensional. Dengan mengeksplorasi kemajuan terkini dan keterbatasan dari tiga hal dominan jenis campuran semen, penelitian ini memberikan wawasan tentang potensi teknologi ini berkontribusi terhadap pencapaian *Sustainable Development Goals (SDGs)*. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan perlu terus dilakukan untuk mengatasi keterbatasan dan membuka potensi penuh untuk industri konstruksi.

Menurut Butkutė & Vaitkevičius (2023) Limbah abu serpih yang terbakar lebih mirip dengan semen *Portland* karena keduanya merupakan bahan reaktif pada komposit beton. Untuk mengurangi limbah industri, limbah plastik yang digunakan dalam komposisi beton adalah limbah karet busa. Meski lebih buruk dalam hal ketahanan, masih dapat diperbaiki dengan bahan tambahan. Karet busa menunjukkan udara positif parameter mortar segar memiliki ketahanan beku yang lebih lama dibandingkan yang lain. Keunggulan karet busa dibandingkan abu serpih yang dibakar adalah bahwa parameter deformasi komposisi NR 3 menunjukkan hasil 58% lebih baik dibandingkan NR 1. Hasilnya menunjukkan bahwa solusi yang paling menjanjikan adalah kolaborasi abu serpih dan karet busa sebagai pengikat beton *3D printing* di masa depan.

Dalam penelitian Alzarrad & Elhouar (2019) menyatakan dalam menciptakan bentuk baru struktur atau menyediakan perumahan murah, bangunan di masa depan kemungkinan besar akan terlihat jauh berbeda dibandingkan bangunan di masa lalu. Namun, penggunaan teknologi *3D printing* harus mengikuti beberapa persyaratan, terutama pada penerapannya proyek bangunan skala besar, pengembangan BIM, tingkat persyaratan penyesuaian dan siklus hidup biaya produk konstruksi *3D printing*.

Terdapat beberapa permasalahan utama terkait konstruksi dan keberlanjutan dieksplorasi berkat keunggulan yang melekat pada teknik *3D printing* seperti misalnya adalah pengendalian limbah produksi dan pengurangan bekas bangunan pada waktu konstruksi, penggunaan bahan bangunan daur ulang untuk bagian non-struktural dan struktural, pengurangan faktor kesalahan manusia dalam proses pembangunan, penggunaan robot di lokasi dan peningkatan detail melalui ketepatan alat dan tenaga kerja (Nadal et al., 2017).

### **Tantangan inovasi pendidikan**

Tantangan inovasi pendidikan ini tentunya menuntut seluruh pemangku kepentingan maupun yang berada di bidang pendidikan dari akademisi dan praktisi merespon akan teknologi baru dan terus berkembang. Para pengajar dituntut untuk bisa beradaptasi dengan kemajuan yang ada dan bertindak profesional dalam lingkungan baru, dan dapat mengajarkan dari yang sudah didapatkan berupa ilmu dan teknologi. Terus dilakukan kajian dan penelitian serta pengembangan dari yang telah di dapatkan untuk bisa dituangkan dalam sistem pengajaran yang baru.

Perlu diberikan kuliah tentang teknologi *3D printing* untuk pelajar teknik dan penerapannya di bidang konstruksi. Menjadikan pelajaran *3D printing* sebagai salah satu mata kuliah dalam pembelajaran dan kurikulum. Memperluas bidang penelitian yang mencakup semua pekerjaan konstruksi dengan *3D printing*, keragaman bahan digunakan pada *3D printing*, dan pemodelan tambahan untuk proses desain multidisiplin (Allouzi et al., 2020).

Dilakukan seminar-seminar terbuka tentang inovasi baru agar bisa mengejar ketertinggalan dan selalu dapat mengikuti perkembangan terbaru tentang teknologi.

### **Tantangan inovasi teknologi industri**

Tantangan yang dihadapi dalam mengadopsi teknologi industri *3D printing* meliputi beberapa aspek seperti misalnya aspek teknis, aspek ekonomis, dan aspek sosial.

Menurut Tay et al. (2017) Tantangan utama adalah untuk mengembangkan bahan yang sesuai yang dapat diekstrusi terus menerus dan bertumpuk satu sama lain tanpa menyebabkan deformasi pada lapisan manik bawah. Penting untuk melakukan analisis elemen hingga untuk mensimulasikan beban struktural dan sifat reaktif material untuk komponen arsitektur yang dicetak menggunakan material semen dan kental untuk memahami perilakunya saat dibebani. Seiring dengan kemajuan teknologi *3D printing* dan otomatisasi untuk B&C akan ideal untuk menghilangkan keterlibatan manusia yang diperlukan untuk tugas-tugas yang berpotensi berbahaya. Dengan terintegrasinya BIM juga dapat membantu mitigasi beberapa tantangan utama proyek konstruksi seperti perencanaan dan pemantauan konstruksi, efektif komunikasi, keselamatan dan manajemen pengadaan.



Menurut Hossain et al. (2020) penggunaan teknologi *3D printing* secara signifikan mengurangi jumlah tenaga kerja di bidang konstruksi proses dan dapat menghemat biaya tenaga kerja sebesar 50–80%. Oleh karena itu, diharapkan teknologi ini dapat menyelesaikan permasalahan tersebut masalah kekurangan tenaga kerja, terutama untuk negara-negara seperti Amerika Serikat, UEA, Qatar, Malaysia, Singapura, dll. Meskipun demikian, penggunaan teknologi ini akan menciptakan peluang untuk pekerjaan-pekerjaan canggih dengan keahlian khusus lainnya.

Pada penelitian ini juga disebutkan tantangan lain dalam mengadopsi *3D printing* terutama pada pelaksanaan dalam skala besar yaitu biaya yang tinggi dalam pengadaan infrastruktur yang harus disiapkan oleh perusahaan konstruksi. Penghematan biaya yang diperoleh dari *3D printing* terutama meliputi material dan tenaga kerja dan penghematan waktu, tanpa memperhitungkan detail biaya mesin (robot 3D) dan kebutuhan perangkat lunak, perangkat keras, pelatihan, dan lain-lain.

Menurut Shaath et al. (n.d.) Industri konstruksi telah melakukan beberapa upaya untuk mengadopsi teknologi 3D printing. Namun penggunaan saat ini masih sangat terbatas. Selain alasan ekonomi, ada beberapa alasan sosial, pasar dan bisnis yang mempengaruhi tingkat adopsi teknologi ini. Tujuan dari teknologi *3D printing* adalah untuk mendorong pengembangan teknologi baru yang diperlukan untuk memproduksi habitat secara aditif dengan menggunakan bahan lokal bahan-bahan asli dengan atau tanpa bahan-bahan yang dapat didaur ulang.

Tantangan-tantangan ini memerlukan kerjasama antara industri, pemerintah, dan penelitian untuk memajukan teknologi ini lebih lanjut.

## 5. KESIMPULAN

Sistematik literatur ini mengulas tentang teknologi *3D Printing* dalam industri konstruksi dengan melakukan analisis bibliometrik, dengan bantuan *software Publish or Perish* dalam pencarian datanya serta *software VOSviewer* pada analisis dan tampilan visual jaringannya. Analisis dilakukan adalah dengan menggunakan sampel yang sudah dikumpulkan kemudian mengidentifikasi jurnal yang menerbitkan penelitian terkait *3D printing* dilanjutkan dengan mengambil topik-topik yang relevan dengan pembahasan kemudian mengidentifikasi tema karakteristik dengan analisis kualitatif serta mengklasifikasikan semua jurnal sehubungan dengan tahun tema klaster dan faktor-faktor lain yang terkait. Memberikan prespektif inovatif kepada para peneliti dan pemangku kepentingan untuk dapat mengembangkan teknologi yang berpengaruh pada dampak sosial, ekonomi dan politik.

Pada penelitian Saleh Abd Elfatah (2019) merekomendasikan peningkatan kerjasama dengan akademisi untuk mendapatkan wawasan baru dan lebih baik teknologi pencetakan beton *3D printing*, peningkatan kerjasama dengan pemasok konvensional untuk mendukung pengembangan beton *3D printing*, pemberian modal dan investasi dalam proyek *3D printing*, mengintegrasikan perkuatan dalam struktur *3D printing* untuk membangun gedung bertingkat di masa depan, penggunaan bahan daur ulang harus ditingkatkan untuk membangun struktur ramah lingkungan, pengembangan melalui perangkat lunak BIM agar dapat memberikan kendali yang lebih besar mulai dari tahap konsep hingga rekayasa, mengimplikasikan strategis bagi pemangku kepentingan seiring dengan berjalannya evolusi ini dan pihak pemerintah mempersiapkan diri dalam menghadapi transformasi.

Penggunaan teknologi *3D printing* pada konstruksi untuk maket internal membantu kontraktor umum menghemat waktu dan uang dengan tidak harus bergantung pada pihak ketiga untuk maket dan *streamline* serta meningkatkan komunikasi antara pemilik, arsitek dan kontraktor (Kidwell, 2017).

Penerapan teknologi *3D printing* pada konstruksi adalah alternatif konstruksi konvensional sesuai dengan kemampuannya dalam mengurangi waktu dan biaya konstruksi. Dari pemerintah dan lembaga-lembaga yang menargetkan perumahan bagi masyarakat berpendapatan rendah dan tempat penampungan darurat bagi para pengungsi perlu menerapkan teknologi ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alami, A. H., Olabi, A. G., Ayoub, M., Aljaghoub, H., Alasad, S., & Abdelkareem, M. A. (2023). 3D Concrete Printing: Recent Progress, Applications, Challenges, and Role in Achieving Sustainable Development Goals. *Buildings*, 13(4), 924.
- Alfitman, R., & Widodo, D. E. (2019). *Studi Literatur dengan Bibliometrika: Sebuah Pendekatan Mendapatkan Topik Penelitian Menggunakan PoP, Mendeley, dan VOSviewer*.
- Allouzi, R., Al-Azhari, W., & Allouzi, R. (2020). Conventional construction and 3D printing: A comparison study on material cost in Jordan. *Journal of Engineering*, 2020, 1–14.
- Alzarrad, M. A., & Elhouar, S. (2019). 3D printing applications in construction from the past and into the future. *Creative Construction Conference 2019*, 754–760.
- Butkutė, K., & Vaitkevičius, V. (2023). 3D concrete printing with wastes for building applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 2423(1), 012034.

- Chung, J., Lee, G., & Kim, J. H. (2021). Framework for technical specifications of 3D concrete printers. *Automation in Construction*, 127, 103732.
- El-Sayegh, S., Romdhane, L., & Manjikian, S. (2020). A critical review of 3D printing in construction: Benefits, challenges, and risks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 20, 1–25.
- Hossain, M. A., Zhumabekova, A., Paul, S. C., & Kim, J. R. (2020). A review of 3D printing in construction and its impact on the labor market. *Sustainability*, 12(20), 8492.
- Kidwell, J. (2017). *Best practices and applications of 3D printing in the construction industry*.
- Muhammad, I., & Triansyah, F. A. (2020). *Panduan Lengkap Analisis Bibliometrik dengan VOSviewer: Memahami Perkembangan dan Tren Penelitian di Era Digital*. Penerbit Adab.
- Nadal, A., Pavón, J., & Liébana, O. (2017). 3D printing for construction: a procedural and material-based approach. *Informes de La Construcción*, 69(546), e193.
- Saleh Abd Elfatah, A. (2019). 3D Printing in Architecture, Engineering and Construction (Concrete 3D printing). *Engineering Research Journal*, 162, 119–137.
- Shaath, A. B., Wibowo, M. A., & Hatmoko, J. Construction 3D Printing Concrete within Indonesia and Malaysia of the Sustainable Future Houses: Environmental Aspect.
- Tay, Y. W. D., Panda, B., Paul, S. C., Noor Mohamed, N. A., Tan, M. J., & Leong, K. F. (2017). 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual and Physical Prototyping*, 12(3), 261–276.
- Žujović, M., Obradović, R., Rakonjac, I., & Milošević, J. (2022). 3D printing technologies in architectural design and construction: a systematic literature review. *Buildings*, 12(9), 1319.