

SURVEI LITERATUR POTENSI DAN HAMBATAN PENGGUNAAN 3D PRINTING DALAM PROYEK KONSTRUKSI

Albert Sukadi¹, Christian Owen Tanjiro², Paulus Nugraha³

ABSTRAK : Meningkatnya kebutuhan pembangunan menuntut manusia untuk menemukan cara yang lebih efisien. Meningkatnya kebutuhan pembangunan menuntut manusia untuk menemukan cara yang lebih efisien dan lebih cepat. Teknologi juga berkembang pesat dan memaksa semua sektor untuk mengikuti perkembangan zaman agar tidak tertinggal. Salah satu teknologi yang mulai diterapkan adalah *3D Printing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi penggunaan *3D Printing* dalam proyek konstruksi dan hambatan penggunaan *3D Printing* dalam proyek konstruksi. Pengumpulan data didapat dengan mengumpulkan jurnal-jurnal yang diperoleh di dalam maupun luar negeri. Data yang di yang diperoleh membahas mengenai keunggulan dan keterbatasan *3D Printing* dalam bidang teknologi, biaya dan waktu. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *3D Printing* berpotensi untuk digunakan dalam proyek konstruksi dikarenakan *3D Printing* memiliki keunggulan yang dapat membantu para pelaku konstruksi selama fase konstruksi, lebih hemat, dan lebih cepat. Selain itu, *3D Printing* memiliki keterbatasan yang menjadi penghambat akan penggunaan *3D Printing* itu sendiri yaitu: minat, tenaga kerja ahli, biaya printer yang mahal, dan regulasi. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat membuka pandangan para pelaku konstruksi untuk melihat potensi penggunaan *3D Printing* dalam sektor konstruksi.

KATA KUNCI : *3D printing*, keunggulan, keterbatasan, teknologi, biaya, waktu

1. PENDAHULUAN

Dengan pesatnya perkembangan teknologi, muncul kecenderungan untuk meninggalkan teknologi lama dan belajar serta menggunakan teknologi baru untuk mengikuti perkembangan zaman. Teknologi lama yang dimaksud adalah membangun sebuah bangunan dengan metode konvensional dengan waktu yang lama dan biaya yang mahal. Akibatnya, Hal ini yang membuat para pelaku konstruksi di dunia untuk menemukan inovasi yang dapat memajukan pelaku konstruksi sehingga pekerjaan dapat dilakukan secara efektif dan efisien. Salah satu inovasi tersebut adalah *3D Printing*. *3D Printing* adalah proses menggabungkan bahan untuk membuat objek dari data model 3D, biasanya lapis demi lapis (ASTM Standard, 2012). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keunggulan dan keterbatasan *3D Printing* dalam bidang teknologi, biaya dan waktu pada proyek konstruksi. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan wawasan tentang penggunaan *3D Printing* sehingga mengetahui keunggulan maupun keterbatasan *3D Printing* dalam bidang teknologi, biaya dan waktu pada proyek konstruksi.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11180035@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11180038@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, pnugraha@petra.ac.id

2. LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian *3D Printing*

3D Printing adalah kebalikan dari cara konvensional membuat objek. Alih-alih mengolah atau "mengurangi" bahan untuk membentuk objek seperti cara pemotongan tanah liat, *3D Printing* menambahkan lapisan demi lapisan bahan untuk membuat objek, tetapi hanya jika diperlukan (Pearson, 2020). *3D Printing* sendiri membutuhkan sebuah alat cetak yang bernama *3D Printer*. *3D Printer* adalah printer yang dapat mencetak objek tiga dimensi sebagai pengganti gambar atau huruf di atas kertas (ASTM Standard, 2012). *3D Printer* dibagi menjadi 2 tipe yaitu ekstrusi (FDM) atau yang dikenal dengan lapis demi lapis dan *powder bed*

2.2. Sejarah *3D Printing*

Pada tahun 1984 dimana seorang ilmuwan bernama Charles "Chuck" Hull mematenkan *stereolithography* (SLA), yaitu teknik yang memanfaatkan reaksi antara sinar *ultraviolet* (UV) dan cairan *photopolymer*. Saat terkena sinar UV, *photopolymer* akan langsung berubah menjadi bentuk plastik padat yang sesuai dengan model 3D CAD (Alzarrad and Elhouar, 2019). Pada tahun 1988, Carl Deckard dari University of Texas mengajukan paten untuk teknologi Selective Laser Sintering (SLS) dimana sistem ini menggabungkan bubuk dan menggunakan laser (BCN3D, 2020). Pada tahun 1988, Scott Crump mematenkan teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM). Teknologi FDM berbeda dengan teknologi SLS dan SLA yang menggunakan cahaya, filamen langsung diekstrusi dari *nozzle* yang dipanaskan (Prince, 2014). Pada tahun 2001, Dr. Khoshnevis dari *University of Southern California* mencetak dinding menggunakan *3D printer* FDM yang dipasang pada lengan robot untuk mengekstrusi lapisan beton dan Dr. Khoshnevis menyebut teknologi ini dengan *Contour Crafting* (CC) (Alzarrad and Elhouar, 2019).

2.3. *3D Printing* di Dunia Konstruksi

Seiring perkembangan *3D Printing* dalam dunia konstruksi, terdapat 3 metode bangunan *3D Printing* yang dikenal luas yaitu CC, *Concrete Printing*, dan *D-shape*. CC merupakan teknologi *3D Printing* yang paling menjanjikan dan memungkinkan pembuatan rumah lengkap di tempat. Terdapat dua atau lebih *nozzle* yang bergerak secara bersamaan di sepanjang *gantry* dan secara bersamaan mencetak berbagai komponen struktur. *Concrete Printing* adalah proses pencetakan berbasis ekstrusi di mana *nozzle* mengekstrusi material sambil bergerak di jalur yang telah ditentukan dalam proses yang berkelanjutan. *D-shape* menggunakan bubuk dan sistem *binder jetting*. Metode *D-shape* ini juga melakukan proses lapis demi lapis. Proses metode ini diawali dengan meletakkan bubuk dan memadatkan dengan ketebalan yang diinginkan. Kemudian, *binder jetting* disuntikkan di tempat yang diinginkan tadi menggunakan *nozzle*. Setelah mengeras, benda yang telah tercetak tadi sudah dapat diambil dan metode *D-shape* selesai. Metode ini cocok untuk polimer, logam, dan keramik (Bhusal and Kshirsagar, 2020). Contoh penggunaan *3D Printing* di dunia adalah Radiolaria Pavilion, jembatan baja, kantor, gedung dua tingkat, jembatan beton, gedung administrasi kotamadya, dan maket.

2.4. Penggunaan *3D Printing* di Indonesia

Salah satu contoh penggunaan *3D Printing* yang sudah dilakukan di Indonesia adalah pembangunan 444 unit rumah khusus *3D Printing* di Kabupaten Kuningan, Jawa Barat. Pada bulan Juni 2022, sebuah perusahaan startup di Yogyakarta yang bernama Autoconz telah membangun rumah seluas 49 m² dengan tinggi 5 m. Tak sampai disana, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR) menyebutkan bahwa nantinya rumah dinas di Ibu Kota Nusantara (IKN) akan dibangun dengan teknologi *3D Printing* (Firdaus, 2022).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan pengumpulan jurnal-jurnal terdahulu yang didapat dari dalam negeri maupun luar negeri. Jurnal-jurnal tersebut didapat secara *online* atau *e-journal* yang dapat dicari melalui *internet*. Data-data yang dikumpulkan berupa keunggulan dan keterbatasan dalam bidang teknologi, biaya dan waktu dengan menggunakan *3D Printing* sebagai potensi dalam penggunaan teknologi tersebut dalam proyek konstruksi. Kemudian diakhiri dengan kesimpulan yang dapat ditentukan setelah hasil pengamatan dari analisa data telah berhasil dilaksanakan, sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai. Dari hasil analisis data studi literatur, dapat ditarik kesimpulan tentang potensi penggunaan *3D Printing* dalam dunia konstruksi dan perbandingan biaya dan waktu dengan metode konvensional. Hasil kesimpulan menjadi dasar untuk menentukan saran yang perlu dilakukan dan yang bisa berguna bagi penelitian di masa depan.

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Keunggulan dan Keterbatasan *3D Printing* dalam Bidang Teknologi

Referensi Studi Literatur untuk **Tabel 1** dan **Tabel 2** :

1. Kidwell (2017)
2. Alzarrad and Elhouar (2019)
3. Olsson et al. (2019)
4. Elfatah (2019)
5. Besklubova et al. (2021)
6. Ali et al. (2022)
7. Yossef and Chen (2015)
8. Pandit and Kumari (2021)
9. Panda et al. (2018)
10. Labonnote et al. (2016)

Keunggulan *3D Printing* dalam Bidang Teknologi

Peneliti membuat **Tabel 1** yang berisi literatur - literatur yang membahas mengenai keunggulan *3D Printing* dalam bidang teknologi.

Tabel 1. Keunggulan Penggunaan *3D Printing* dari Beberapa Literatur

Kategori	Pernyataan	Referensi									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fase pra - konstruksi	Komunikasi antar pelaku konstruksi	v	v	v	v		v	v			v
	Ketidakterbatasan bentuk desain	v	v	v	v		v	v	v	v	v
Fase konstruksi	Penghematan biaya dan waktu konstruksi	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Fase pasca - konstruksi	Mengurangi limbah material	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Seluruh fase konstruksi	Meminimalisir kecelakaan kerja		v	v	v	v	v	v		v	v
	Meningkatkan Kepresisian	v	v		v	v	v			v	v

Fase Pra-konstruksi: Komunikasi Antar Pelaku Konstruksi

Sebelum membangun sebuah bangunan, ada kalanya jika mengadakan pertemuan antara pelaku konstruksi (*owner*, kontraktor, dan arsitek) untuk membahas proyek yang akan dilakukan. Biasanya

untuk membahas proyek ini, pelaku konstruksi akan melakukan presentasi dengan menggunakan aplikasi power point dan mungkin menunjukkan gambaran-gambaran 3D dengan aplikasi SketchUp. Tetapi pada umumnya, *owner* tidak memiliki ilmu teknik sipil. Hal inilah yang membuat *owner* akan merasa kebingungan saat dilakukannya pertemuan ini. Maka dari itu, dengan adanya *3D Printing*, arsitek dapat menggunakan *3D Printing* untuk membuat maket sebagai komunikasi antara *owner*, kontraktor, dan arsitek. Dalam **Tabel 1** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 7 literatur yang membahas keunggulan *3D Printing* mengenai komunikasi antar pelaku konstruksi. Bisa disimpulkan jika penggunaan *3D Printing* bisa menjadi jembatan komunikasi antar pelaku konstruksi.

Fase Pra-konstruksi: Ketidakterbatasan Bentuk Desain

Dalam **Tabel 1** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 9 literatur yang membahas keunggulan *3D Printing* mengenai ketidakterbatasan bentuk desain dikarenakan dengan adanya *3D Printing*, sebuah desain kompleks yang semula sulit untuk dibuat atau dibentuk akan menjadi hal yang nyata.. Bisa disimpulkan jika *3D Printing* memiliki ketidakterbatasan bentuk desain.

Fase Konstruksi: Penghematan Biaya dan Waktu Konstruksi

Dalam **Tabel 1** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, semua literatur membahas keunggulan *3D Printing* mengenai penghematan biaya dan waktu konstruksi dikarenakan *3D Printing* tidak membutuhkan banyak pekerja dan bahan yang terbuang sangat minimum saat pengerjaannya. Bisa disimpulkan bahwa dengan adanya teknologi *3D Printing* dapat menghemat waktu dan mempercepat proses konstruksi.

Fase Pasca-konstruksi: Mengurangi Limbah Konstruksi

Dalam **Tabel 1** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, semua literatur membahas keunggulan *3D Printing* mengenai pengurangan limbah konstruksi karena dengan penggunaan *3D Printing* dalam konstruksi, secara tidak langsung dapat mengurangi limbah (material waste). Bisa disimpulkan jika *3D Printing* mampu mengurangi limbah konstruksi.

Fase Pasca-konstruksi: Meminimalisir Kecelakaan Kerja

Dalam **Tabel 1** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 8 literatur yang membahas keunggulan *3D Printing* mengenai meminimalisir kecelakaan kerja. Dengan penggunaan *3D Printing* dalam konstruksi, dapat mengurangi angka kecelakaan kerja. Tak sampai disitu, *3D Printing* dapat dikontrol dengan kendali jauh (remote control) yang memberikan keuntungan untuk bekerja ditempat yang berbahaya. Bisa disimpulkan jika *3D Printing* dapat mampu meminimalisir kecelakaan kerja (*more safety*).

Fase Pasca-konstruksi: Meningkatkan Kepresisian

3D Printing yang memiliki bahan bubuk ternyata cocok untuk bentuk ornamen yang sangat detail (Besklubova et al., 2021). Dalam **Tabel 1** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 7 literatur yang membahas keunggulan *3D Printing* mengenai peningkatan kepresisian. Bisa disimpulkan bahwa *3D Printing* dapat mampu meningkatkan kepresisian.

Keterbatasan 3D Printing dalam Bidang Teknologi

Pada bagian ini, akan membahas mengenai keunggulan penggunaan *3D Printing* dalam bidang teknologi. Peneliti membuat **Tabel 2** yang berisi literatur - literatur yang membahas mengenai keterbatasan *3D Printing* dalam bidang teknologi.

Tabel 2. Keterbatasan Penggunaan 3D Printing dari Beberapa Literatur

Faktor - faktor	Pernyataan	Referensi									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Internal	Minat	v		v	v	v	v			v	v
	Ilmu baru	v	v		v	v			v		v
Eksternal	Tenaga kerja yang memahami cara kerja	v	v		v	v	v		v	v	v
	Ukuran <i>printer</i> yang terbatas	v	v	v	v	v	v	v		v	v
	Biaya untuk alat yang diperlukan	v	v		v			v	v		v
	Peraturan (regulasi)	v			v	v	v			v	v

Keterbatasan: Minat

Dalam **Tabel 2** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 7 literatur yang membahas keterbatasan mengenai minat terhadap penggunaan *3D Printing* dalam proyek konstruksi. Itu dikarenakan *3D Printing* masih dapat dikatakan teknologi yang masih relatif baru. Banyak kontraktor yang masih terbiasa dan nyaman dengan cara konvensional sehingga mereka tidak memikirkan cara lain dan takut untuk berinvestasi pada teknologi *3D Printing* ini. Bisa disimpulkan jika *3D Printing* dapat memiliki keterbatasan dalam hal minat.

Keterbatasan: Ilmu Baru

Keterbatasan yang lain adalah *3D Printing* masih termasuk ilmu baru. Oleh karena itu, masih diperlukan pembelajaran atau penelitian tentang *3D Printing* agar dapat diterapkan pada dunia konstruksi. Dalam **Tabel 2** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 6 literatur yang membahas keterbatasan *3D Printing* yang bisa diketahui bahwa *3D Printing* masih teknologi baru dan secara tidak langsung merupakan ilmu baru juga. Bisa disimpulkan jika salah satu cara agar dapat bertahan hidup di zaman yang mengikuti zaman ini adalah mengikuti perkembangan teknologi itu sendiri.

Keterbatasan: Tenaga Kerja yang Memahami Cara Kerja

Penggunaan *3D Printing* tidak dapat dilakukan oleh semua orang. Tenaga kerja harus mengikuti pelatihan khusus agar dapat mengetahui cara menggunakan teknologi *3D Printing*. Dalam **Tabel 2** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 8 literatur yang membahas keterbatasan *3D Printing* yang membutuhkan tenaga kerja yang ahli akan *3D Printing*. Bisa disimpulkan bahwa *3D Printing* harus dioperasikan oleh tenaga kerja yang ahli dengan teknologi *3D Printing* itu sendiri.

Keterbatasan: Ukuran Printer yang Terbatas

Dalam melaksanakan teknologi *3D Printing* ini dibutuhkan printer untuk mencetak desain yang telah dirancang sebelumnya. Apabila desain yang dirancang melebihi ukuran *printer*, maka desain tersebut tidak bisa dicetak. Dalam **Tabel 2** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 9 literatur yang membahas keterbatasan *3D Printing* mengenai keterbatasan ukuran *printer*. Bisa disimpulkan bahwa *3D Printing* memiliki keterbatasan dalam masalah ukuran *printer*.

Keterbatasan: Biaya untuk Alat yang Diperlukan

Alat atau *printer* yang digunakan memiliki harga yang relatif mahal. Tidak semua kontraktor mampu membeli *3D printer* sehingga masih banyak kontraktor yang lebih memilih cara konvensional. Dalam **Tabel 2** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 6 literatur yang membahas keterbatasan *3D Printing* mengenai mahalnya biaya untuk menggunakan teknologi *3D Printing* ini. Bisa disimpulkan bahwa teknologi *3D Printing* memiliki biaya atau modal yang besar.

Keterbatasan: Peraturan (Regulasi)

Dalam dunia konstruksi tidak ada terlepas dari peraturan-peraturan yang dibuat oleh pemerintah. Peraturan pemerintah dan izin konstruksi sangat bervariasi di seluruh dunia. Tapi satu kesamaan yang mereka miliki adalah keengganan badan publik untuk mengizinkan teknologi mutakhir untuk digunakan oleh masyarakat umum pada tahap awal (Whitaker, 2022). Dalam **Tabel 2** terdapat 10 literatur yang ditinjau oleh peneliti, terdapat 6 literatur yang membahas keterbatasan *3D Printing* mengenai regulasi akan penggunaan *3D Printing* dalam proyek konstruksi. Bisa disimpulkan bahwa *3D Printing* memiliki masalah regulasi agar dapat digunakan dalam proyek konstruksi.

4.2. Keunggulan dan Keterbatasan *3D Printing* dalam Bidang Biaya dan Waktu

Peneliti membuat **Tabel 3** yang berisi literatur - literatur yang membahas mengenai perbandingan biaya dan waktu terhadap metode *3D Printing* dan konvensional.

Referensi Studi Literatur :

1. Kumari and Pandit (2021)
2. Shatornaya et al. (2017)
3. Whitaker (2022)
4. Koroteev et al. (2022)
5. de Soto et al. (2018)
6. Han et al. (2020)
7. Khajavi et al. (2021)
8. Han et al. (2021)
9. Housing (2021)
10. Otto et al. (2020)

Tabel 3. Perbandingan Biaya dan Waktu *3D Printing* dan Konvensional

Penulis	Konstruksi	Luasan	Biaya		Waktu	
			<i>3D Printing</i>	Konvensional	<i>3D Printing</i>	Konvensional
1	Rumah 1 Lantai	600 sq ft	Rs 550,000	Rs 811,330	5 hari	4 - 5 bulan
2	Rumah 1 Lantai	10 x 10 x 3 m	\$ 21,780	\$ 28,325	40 hari	53 hari
3	Rumah dengan 3 Kamar Tidur	1,200 sq ft	\$ 140,000 s/d \$ 240,000	\$ 250,000 s/d \$ 320,000	-	-
4	Rumah 5 Lantai	3,513.62 m ²	\$ 767,362.6	\$ 1,195,895	-	-
5	Dinding Melengkung	4.39 m ³	\$ 23,262	\$ 54,669	80.63 jam	71.52 jam
	Dinding Lurus		\$ 22,092	\$ 7,211	74.42 jam	24.22 jam
6	Dinding Melengkung	-	\$ 733.53	\$ 232.8	1.102 h/m ²	14.48 h/m ²
7	Rumah Lingkaran	40 m ²	€3,477.50	€8,197.16	4 hari 8.5 jam	29 hari 12.4 jam
	Rumah Kotak		€4,410.31	€7,943.25	4 hari 14.3 jam	29 hari 13.8 jam
8	Beton Silinder Silo	11.913 m ³	RMB 15,007	RMB 18,250	-	-
	Bungalo	5 x 3.6 x 3 m	RMB 14,422	RMB 12,288	-	-
9	Rumah 1 Lantai	1,200 sq ft	\$ 15,558.19	\$ 61,656.87	3 hari	1 - 4 bulan
10	Dinding	1,800 m ²	€108,363	€176,582	18 hari	63 hari

Dalam **Tabel 3** terdapat 10 literatur dengan total 13 proyek. Dalam 10 proyek tersebut membuktikan bahwa proyek lebih hemat dikarenakan tidak menggunakan bekisting saat proses konstruksi, *3D*

Printing unggul di desain kompleks, dan efisien. Sedangkan sisanya yaitu 3 proyek lainnya *3D Printing* lebih mahal dikarenakan biaya *setup 3D Printer*, dan material yang digunakan mahal.

Untuk perbandingan waktu, terdapat 7 proyek yang membuktikan bahwa metode *3D Printing* lebih cepat daripada metode konvensional. Dalam 7 proyek tersebut membuktikan proyek lebih cepat dikarenakan *3D Printing* lebih efisien karena penggunaan robot daripada pekerja, tidak ada pekerjaan pemasangan dan pelepasan bekisting. Sedangkan sisanya yaitu 2 proyek lainnya membuktikan bahwa metode *3D Printing* lebih lama daripada metode konvensional karena *setup 3D Printer*. Bisa disimpulkan bahwa *3D Printing* lebih cepat daripada metode konvensional.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian terkait potensi penggunaan *3D Printing* dalam proyek konstruksi berdasarkan hasil studi literatur adalah sebagai berikut:

1. Dalam sudut pandang teknologi, *3D Printing* berpotensi dalam penggunaan di proyek konstruksi dikarenakan *3D Printing* :
 - a. Pembuatan maket untuk memudahkan komunikasi antar pelaku konstruksi,
 - b. Bisa bentuk yang kompleks,
 - c. Tidak menggunakan bekisting pada proyek konstruksi, dan
 - d. Karena menggunakan robot, *3D Printing* dapat meminimalisir kecelakaan kerja.Dalam sudut pandang biaya dan waktu, *3D Printing* berpotensi dalam penggunaan di proyek konstruksi dikarenakan :
 - a. Lebih cepat karena teknologi *3D Printing* tidak ada pekerjaan bekisting, dan
 - b. Lebih hemat karena *3D Printing* efisien dalam desain yang kompleks.
2. Akan tetapi, dalam sudut pandang teknologi, *3D Printing* memiliki hambatan dalam penggunaan di proyek konstruksi yaitu :
 - a. Minat dan ilmu baru karena teknologi yang dianggap baru,
 - b. Tenaga kerja yang memahami teknologi *3D Printing*,
 - c. Ukuran proyek yang dibatasi oleh ukuran printer,
 - d. Biaya untuk alat *3D Printing* yang masih mahal, dan
 - e. Tidak adanya peraturan yang mengatur *3D Printing* untuk penggunaan komersial dan residensial.Dalam sudut pandang biaya dan waktu, *3D Printing* memiliki hambatan dalam penggunaan di proyek konstruksi yaitu :
 - a. Pekerjaan yang sedikit akan lebih hemat jika menggunakan metode konvensional dikarenakan lama di setup time dan setup cost yang mahal.

6. DAFTAR REFERENSI

- Ali, M. H., Issayev, G., Shehab, E., and Sarfraz, S. (2022). "A Critical Review of 3D Printing and Digital Manufacturing in Construction Engineering." *Rapid Prototyping Journal*. Vol. 28, No. 7, 1312-1324.
- Alzarrad, M. A., and Elhouar, S. (2019). "3D Printing Applications in Construction from The Past and into The Future." *Creative Construction Conference (2019)*. Proceedings of Creative Construction Conference, Budapest, Hungary, June 29 - July 2, 754-760.
- ASTM. (2012). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*, ASTM International, United States.
- BCN3D. (2020). "When Was 3D Printing Invented? The History of 3D Printing." *BCN3D*, <<https://www.bcn3d.com/the-history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>> (December 10, 2022).
- Besklubova, S., Skibniewski, M. J., and Zhang, X. (2021). "Factors Affecting 3D Printing Technology Adaptation in Construction." *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 147, No. 5, 04021026.

- Bhusal, S., and Kshirsagar, S. (2020). "Comparison of Construction with Traditional Method and 3D Printing Technology." *IRE Journals*. Vol. 3, No. 11, 93-97.
- de Soto, B. G., Agustí-Juan, I., Hunhevicz, J., Joss, S., Graser, K., Habert, G., and Adey, B. T. (2018). "Productivity of Digital Fabrication in Construction: Cost and Time Analysis of a Robotically Built Wall." *Automation in construction*. Vol. 92, No. 2, 297-311.
- Elfatah, A., S., A. (2019). "3D Printing in Architecture, Engineering and Construction (Concrete 3D Printing)." *Engineering Research Journal*. Vol. 162, No. 0, 119-137.
- Firdaus, R. G. (2022). "Gunakan Teknologi 3D Printing, Pemerintah Bangun Rumah Dinas di IKN." *Konstruksi Media*, <<https://konstruksimedia.com/gunakan-teknologi-3d-printing-pemerintah-bangun-rumah-dinas-di-ikn/>> (December 11, 2022).
- Han, D., Yin, H., Qu, M., Zhu, J., and Wickes, A. (2020). "Technical Analysis and Comparison of Formwork-Making Methods for Customized Prefabricated Buildings: 3D Printing and Conventional Methods." *Journal of Architectural Engineering*. Vol. 26, No. 2, 04020001.
- Han, Y., Yang, Z., Ding, T., and Xiao, J. (2021). "Environmental and Economic Assessment on 3D Printed Buildings with Recycled Concrete." *Journal of Cleaner Production*. Vol. 278, No. 2, 123884.
- Housing, A. (2021). "Research and Feasibility Study on 3D Printed Homes in Rural Alaska." *Alaska Housing*, <https://www.ahfc.us/download_file/view/7140/464> (December 15, 2022).
- Khajavi, S. H., Tetik, M., Mohite, A., Peltokorpi, A., Li, M., Weng, Y., and Holmström, J. (2021). "Additive Manufacturing in the Construction Industry: The Comparative Competitiveness of 3D Concrete Printing." *Applied Sciences*. Vol. 11, No. 9, 3865.
- Kidwell, J. (2017). "Best Practices and Applications of 3D Printing in the Construction Industry." *California Polytechnic State University*. San Luis Obispo, December.
- Koroteev, D. D., Huang, J., and Koreneva, A. I. (2022). "Cost Analysis of the Combined Application of 3D-Printing and BIM Technologies in the Construction Industry." *AIP Conference Proceedings*. Proceedings of the International Conference on Engineering Research, Moscow, Russia, October 20 - October 22, 040012.
- Labonnote, N., Rønquist, A., Manum, B., and Rütger, P. (2016). "Additive Construction: State-of-the-art, Challenges and Opportunities." *Automation in Construction*. Vol. 72, No. 3, 347-366.
- Olsson, N. O., Shafqat, A., Arica, E., and Økland, A. (2019). "3D-Printing Technology in Construction: Results from a Survey." Emerald Reach Proceedings Series. *10th Nordic Conference on Construction Economics and Organization*. Tallinn, Estonia May 7 - May 8, 349-356.
- Otto, J., Kortmann, J., and Krause, M. (2020). "Wirtschaftliche Perspektiven von Beton- 3D-Druckverfahren." *Beton- und Stahlbetonbau*. Vol. 115, No. 8, 586-597.
- Panda, B., Tay, Y. W. D., Paul, S. C., and Tan, M. J. (2018). "Current Challenges and Future Potential of 3D Concrete Printing: Aktuelle Herausforderungen und Zukunftspotenziale des 3D-Druckens bei Beton." *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. Vol. 49, No. 5, 666-673.
- Pandit, A. and Kumari, A. (2021). "Effectiveness of 3D Printing In Construction Industry over the Old Conventional Method Regarding Time and Cost A Review." *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. Vol. 6, No. 6, 983-987.
- Pearson, A. (2020). "3D printing Q&A." *Stratasys*, <<https://www.stratasys.com/en/resources/blog/3d-printing-faq/>> (December 13, 2022).
- Prince, J. D. (2014). "3D Printing: an Industrial Revolution." *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*. Vol 11, No. 1, 39-45.
- Shatornaya, A. M., Chislova, M. M., Drozdetskaya, M. A., and Ptušina, I. S. (2017). "Efficiency of 3D Printers in Civil Engineering." *Stroitel'stvo Unikal'nyh Zdanij i Sooruzenij*. Vol. 9, No. 60, 22-30.
- Whitaker, D. (2022). "Cost of 3D Printers for the Development of Housing in Detroit." *Legislative Policy Division* <<https://detroitmi.gov/document/2022-03-30-cost-3d-printers-development-housing-detroit>> (December 14, 2022).
- Yossef, M., and Chen, A. (2015). "Applicability and Limitations of 3D Printing for Civil Structures." *Proceedings of the 2015 Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure*, Ames, Iowa, June 2 - June 3, 237-246.