

KENDALA DAN SOLUSI PADA TAHAP AWAL INSTALASI TEKNOLOGI 3D PRINTING KONTRUKSI

Julius Rinto Aritonang*, Domi Kamsyah, S.T., M.T.
Politeknik Negeri Batam, Program Studi Teknik Mesin
Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
Juliusrinto544@gmail.com

ABSTRAK

Teknologi 3D printing atau *additive manufacturing* merupakan inovasi penting dalam dunia industri yang mampu meningkatkan efisiensi produksi, fleksibilitas desain, dan kustomisasi produk. Namun, pada tahap awal operasional, implementasi teknologi ini masih menghadapi berbagai kendala baik dari aspek teknis, ekonomi, maupun sumber daya manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kendala utama dalam penerapan awal teknologi 3D printing serta merumuskan solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi hambatan tersebut. Metode yang digunakan adalah pendekatan kualitatif melalui studi literatur dari berbagai jurnal ilmiah terkait. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendala utama meliputi tingginya biaya investasi, keterbatasan material, kurangnya keterampilan tenaga kerja, serta belum optimalnya kualitas hasil cetak. Adapun solusi yang dapat diterapkan antara lain peningkatan pelatihan SDM, pengembangan material, optimalisasi proses produksi, serta dukungan kebijakan dan kolaborasi industri. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pelaku industri dalam mengimplementasikan teknologi 3D printing secara lebih efektif pada tahap awal operasional.

Kata kunci: 3D Printing, Manufaktur Aditif, Kendala Instalasi, Implementasi Teknologi

ABSTRACT

3D printing, or additive manufacturing, is a significant innovation in the industrial world, capable of improving production efficiency, design prototyping, and product customization. However, in the early stages of operation, the implementation of this technology still faces various obstacles, both technically and economically, as well as in terms of human resources. This study aims to identify the main obstacles in the initial implementation of 3D printing technology and formulate solutions to overcome these obstacles. The method used was a qualitative approach through a literature review of various relevant scientific journals. The results indicate that the main obstacles include high investment costs, limited materials, a lack of workforce skills, and suboptimal print quality. Possible solutions include improving human resource training, material development, optimizing production processes, and providing policy support and industry collaboration. This research is expected to contribute to industry players in implementing 3D printing technology more effectively in the early stages of operation.

Keywords: 3D Printing, Additive Manufacturing, Operational Constraints, Technology Implementation

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur modern mengalami peningkatan yang sangat pesat seiring dengan kebutuhan industri terhadap proses produksi yang lebih cepat, efisien, dan fleksibel, terutama dalam bidang pembangunan yang terus menuntut inovasi guna mewujudkan struktur bangunan yang kokoh, presisi, dan memiliki bentuk yang beragam. Salah satu inovasi teknologi yang berkembang pesat dan mulai diterapkan secara luas saat ini adalah teknologi 3D printing atau yang sering disebut sebagai *additive manufacturing*, yaitu metode pembuatan benda atau struktur tiga dimensi berdasarkan rancangan desain digital dengan cara menambahkan material secara bertahap dan berlapis-lapis hingga membentuk suatu produk atau elemen bangunan yang sesuai dengan perencanaan teknis yang telah ditetapkan sebelumnya. Penggunaan teknologi 3D printing ini telah diterapkan dalam berbagai bidang strategis mulai dari industri manufaktur umum, dunia pendidikan, pelayanan kesehatan, industri otomotif, bidang arsitektur, hingga industri konstruksi dan bangunan, karena dinilai memiliki kemampuan untuk mempercepat proses pembuatan elemen struktur atau model fisik, sekaligus berpotensi mengurangi jumlah limbah bahan baku serta biaya produksi yang harus dikeluarkan jika dibandingkan dengan metode pembuatan konvensional [1].

Teknologi 3D printing memiliki beberapa keunggulan utama yang menjadikannya solusi menarik dibandingkan metode pembuatan bangunan atau komponen secara tradisional, di antaranya adalah kemampuan luar biasa untuk mewujudkan bentuk desain yang rumit, kompleks, dan sulit dikerjakan dengan cara biasa, efisiensi tinggi dalam penggunaan material karena hanya menempatkan bahan pada area yang dibutuhkan saja, serta fleksibilitas proses produksi yang memungkinkan penyesuaian desain dilakukan dengan mudah melalui perangkat lunak tanpa perlu mengubah peralatan fisik secara besar-besaran. Selain itu, teknologi ini juga memungkinkan para pelaksana untuk membuat produk atau elemen bangunan dalam jumlah kecil maupun menengah tanpa memerlukan pembuatan cetakan atau bekisting khusus yang memakan waktu dan biaya besar, sehingga jauh lebih hemat waktu kerja dan sumber daya yang digunakan. Dalam dunia pendidikan maupun penelitian teknik sipil dan arsitektur, teknologi 3D printing juga menjadi sarana pembelajaran yang sangat efektif dan bernilai tinggi karena dapat membantu proses visualisasi konsep desain struktur yang abstrak menjadi bentuk nyata, serta mendukung pengembangan ide-ide inovatif baru dalam merancang bangunan yang lebih baik dan efisien [2].

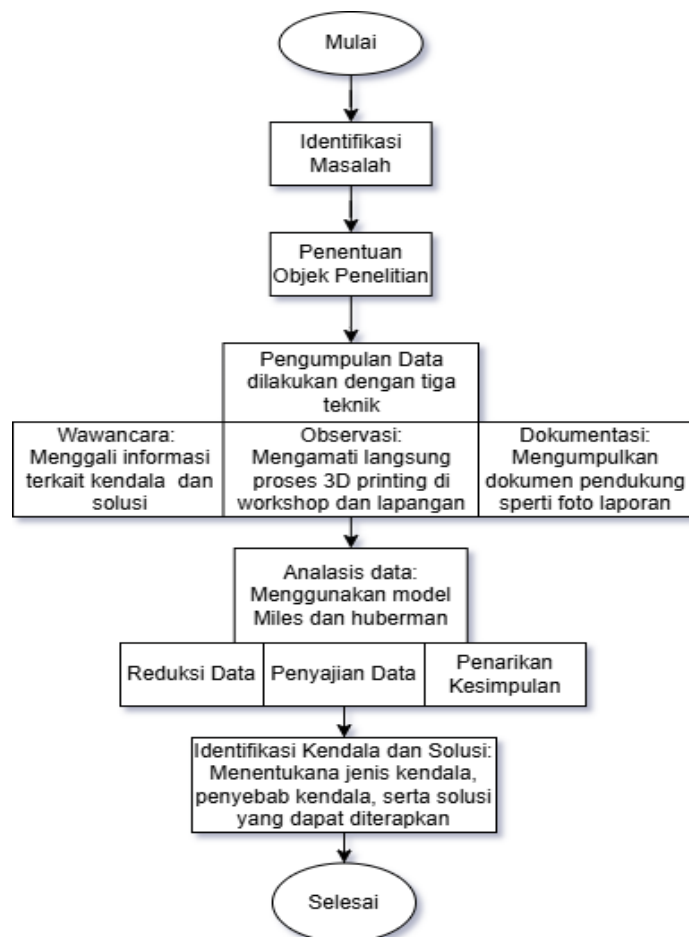
Meskipun memiliki banyak keunggulan, penerapan teknologi 3D printing pada tahap awal instalasi di bidang konstruksi masih menghadapi berbagai kendala teknis dan nonteknis yang memengaruhi efektivitas, kualitas, dan keamanan proses instalasi. Kendala yang sering terjadi meliputi kesalahan material, ketidaksesuaian suhu dan tekanan material, ketidakakuratan pergerakan alat cetak, kegagalan penyatuan antar lapisan material, serta kurangnya keterampilan operator dalam mengoperasikan mesin. Selain itu, terdapat faktor lain seperti kualitas bahan baku yang tidak konsisten, kondisi lingkungan kerja yang berubah-ubah, dan belum adanya prosedur operasional standar yang jelas. Kondisi tersebut menyebabkan proses instalasi sering mengalami kegagalan, hasil tidak sesuai spesifikasi, serta meningkatkan pemborosan waktu, material, dan biaya operasional. Oleh karena itu, diperlukan identifikasi kendala serta perumusan solusi yang tepat agar penerapan teknologi 3D printing dalam konstruksi dapat berjalan lebih efektif, efisien, dan menghasilkan kualitas yang optimal [3].

Penelitian ini bertujuan utama untuk mengidentifikasi berbagai kendala teknis, operasional, maupun lingkungan yang terjadi pada tahap awal operasional teknologi 3D printing saat diterapkan dalam pekerjaan konstruksi, serta menganalisis dan merumuskan solusi yang paling tepat dan dapat diterapkan untuk mengatasi setiap kendala tersebut. Melalui pelaksanaan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam dan menyeluruh mengenai faktor-faktor penyebab munculnya permasalahan dalam proses instalasi struktur, baik yang bersumber dari alat, bahan, manusia, maupun lingkungan, sehingga hasilnya dapat menjadi panduan yang berguna bagi pengguna, institusi pendidikan, maupun pelaku industri konstruksi dalam meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan kualitas hasil kerja saat menggunakan teknologi ini [4].

Landasan teori penelitian ini mengacu pada konsep dasar *additive manufacturing*, prinsip kerja pencetakan tiga dimensi, serta teori teknik sipil dan material yang berkaitan dengan proses pembentukan struktur bangunan melalui penambahan material secara bertahap. Teknologi *additive manufacturing* merupakan metode pembuatan objek dengan menyusun material lapis demi lapis berdasarkan desain digital.

2.METODOLOGI PENELITIAN

Objek penelitian difokuskan pada seluruh aktivitas yang berlangsung pada tahap awal instalasi teknologi 3D printing konstruksi, yang meliputi persiapan lokasi, pemasangan dan perakitan mesin, instalasi perangkat lunak, kalibrasi alat, persiapan material, pengujian awal mesin, serta kesiapan sumber daya manusia yang mengoperasikan teknologi tersebut. Penelitian dilaksanakan pada proyek konstruksi, laboratorium penelitian, atau institusi yang telah menerapkan teknologi 3D printing konstruksi sehingga dapat memberikan data yang relevan dengan tujuan penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses instalasi, wawancara semi terstruktur dengan tenaga ahli, teknisi, operator, dan pihak yang terlibat dalam implementasi teknologi 3D printing konstruksi, serta dokumentasi berupa foto, video, dan catatan lapangan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku referensi, standar operasional prosedur (SOP), manual penggunaan mesin, laporan proyek, dan dokumen lain yang berkaitan dengan teknologi 3D *printing* konstruksi. Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama, yaitu observasi, wawancara, dan studi dokumentasi. Observasi dilakukan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai proses instalasi dan berbagai kendala yang muncul selama pelaksanaan. Wawancara dilakukan secara semi terstruktur agar peneliti dapat menggali informasi secara lebih mendalam mengenai faktor penyebab kendala, dampak yang ditimbulkan, serta solusi yang telah atau dapat diterapkan. Selain itu, studi dokumentasi dilakukan untuk melengkapi dan memperkuat data yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara.



2.1 Identifikasi Masalah

Berdasarkan hasil observasi awal dan kajian literatur, proses instalasi teknologi 3D printing konstruksi masih menghadapi berbagai kendala yang dapat memengaruhi keberhasilan implementasi teknologi. Permasalahan tersebut meliputi belum optimalnya proses instalasi mesin, keterbatasan kompetensi operator dalam menginstalasi mesin 3D printing, belum tersedianya Standar Operasional Prosedur (SOP) yang lengkap, serta pengaruh kondisi lingkungan terhadap proses instalasi. Permasalahan-permasalahan tersebut menyebabkan kualitas hasil instalasi belum optimal, waktu instalasi menjadi lebih lama, serta meningkatnya biaya operasional proyek.

2.2 Objek penelitian

Seluruh aktivitas yang berkaitan dengan tahap awal instalasi teknologi 3D printing konstruksi. Objek tersebut meliputi:

- a) Persiapan lokasi instalasi mesin.
- b) Proses pemasangan dan perakitan mesin 3D printing konstruksi.
- c) Hambatan yang muncul selama proses instalasi.

2.3 Penentuan Objek Penelitian

Penentuan objek penelitian dilakukan secara purposive sampling, yaitu memilih objek penelitian yang dianggap paling memahami proses instalasi teknologi 3D printing konstruksi. Informan penelitian terdiri atas:

- a) Project Manager
- b) Site Engineer
- c) Teknisi mesin 3D Printing
- d) Operator mesin 3D Printing
- e) Quality Control (QC)

Pemilihan informan dilakukan karena mereka terlibat secara langsung dalam proses instalasi sehingga mampu memberikan informasi yang relevan mengenai kendala dan solusi yang diterapkan selama proses berlangsung.

2.4 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan tiga teknik pengumpulan data, yaitu:

- a) Observasi
Observasi dilakukan secara langsung pada lokasi instalasi teknologi 3D printing konstruksi untuk memperoleh gambaran nyata mengenai seluruh tahapan pekerjaan. Melalui observasi, peneliti mengamati proses pemasangan mesin, serta kendala yang terjadi selama proses instalasi berlangsung.
- b) Wawancara
Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur kepada pihak-pihak yang terlibat langsung dalam proses instalasi, seperti operator, teknisi, engineer, dan manajer proyek. Wawancara bertujuan memperoleh informasi mengenai:
 - 1. Kendala yang sering terjadi.
 - 2. Penyebab munculnya kendala.
 - 3. Dampak kendala terhadap proses instalasi.
 - 4. Solusi yang telah diterapkan perusahaan

Berikut Pedoman Wawancara

No	Pertanyaan	Pak Afni	Pak Leon	Pak Cyrus
1	Saya mau nanya gimana ya pak Solusi apa yang kita lakukan untuk mengatasi kendala ini pak?	Dudukan Z-Truss digeser hingga posisi kedua truss sejajar kembali.	Dilakukan pengukuran menggunakan meteran setelah kita dapat ukuran valid nya ,maka posisi nya akan sesuai	Posisi base diperbaiki berdasarkan hasil pengukuran ulang kemudian dilakukan penyetelan kembali.
2	Gimana ya pak supaya kesalahan ini ga terulang Kembali pak dan proses pemasangan mesin kita berjalan lancar	Pengukuran awal harus dilakukan lebih teliti sebelum pemasangan.	Pemeriksaan alignment dilakukan pada setiap tahapan instalasi.	Menggunakan pengukuran dan melakukan verifikasi sebelum perakitan dimulai.
3	Izin bertanya lagi pak, apakah kendala tersebut memengaruhi waktu penyelesaian instalasi?	Ya, karena perlu dilakukan penyetelan ulang.	Ya, waktu instalasi menjadi lebih lama.	Ya, pekerjaan tertunda sampai alignment selesai.

c) Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan berbagai dokumen yang berkaitan dengan penelitian, antara lain:

1. Foto proses instalasi.
2. Video kegiatan di lapangan.
3. SOP instalasi mesin.
4. Manual book mesin.
5. Data hasil trial printing.
6. Laporan proyek.
7. Catatan inspeksi dan checklist instalasi

Dokumentasi digunakan untuk memperkuat data hasil observasi dan wawancara sehingga meningkatkan keabsahan penelitian.

2.5 Analisis Data Menggunakan Model Miles dan Huberman

Analisis data dilakukan menggunakan model interaktif Miles dan Huberman yang terdiri atas empat tahapan berikut.

a. Pengumpulan Data

Peneliti mengumpulkan seluruh data melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi selama proses instalasi teknologi 3D printing konstruksi.

b. Reduksi Data

Data yang diperoleh kemudian diseleksi, dikelompokkan, dan disederhanakan berdasarkan fokus penelitian, yaitu kendala yang muncul pada tahap awal instalasi beserta faktor penyebabnya.

c. Penyajian Data

Data yang telah direduksi kemudian disajikan dalam bentuk tabel, matriks, uraian naratif, maupun diagram sehingga hubungan antarpermasalahan dapat dipahami dengan lebih mudah.

d. Penarikan Kesimpulan dan Verifikasi

Tahap terakhir dilakukan dengan menarik kesimpulan mengenai kendala utama yang ditemukan serta solusi yang paling efektif berdasarkan hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan verifikasi terhadap seluruh data yang telah dikumpulkan.

2.6 Identifikasi Masalah dan Solusi

Identifikasi Masalah	Penyebab	Solusi
Operator belum berpengalaman	Kurangnya pelatihan	Pelatihan operator dan sertifikasi kompetensi
Belum tersedia SOP instalasi yang lengkap	Prosedur kerja belum terdokumentasi	Penyusunan SOP instalasi dan checklist inspeksi
Kondisi lingkungan tidak stabil	Suhu, kelembapan, atau permukaan lokasi berubah	Pengendalian kondisi lingkungan kerja dan persiapan area instalasi

3. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Analisis data dilakukan berdasarkan observasi, wawancara, dan dokumentasi selama tahap awal instalasi teknologi 3D Printing konstruksi, menggunakan model Miles dan Huberman (pengumpulan, reduksi, penyajian data, dan penarikan kesimpulan) untuk menggambarkan secara sistematis hubungan antara faktor penyebab, dampak, dan solusi dari setiap kendala. Hasil analisis menunjukkan bahwa kendala utama adalah faktor sumber daya manusia, yaitu kurangnya pengalaman operator dalam mengoperasikan mesin, memahami fungsi komponen, dan menyesuaikan parameter pencetakan, sehingga proses instalasi memakan waktu lebih lama dan menegaskan perlunya pelatihan berkala serta sertifikasi kompetensi operator; kendala berikutnya adalah belum tersedianya SOP instalasi yang lengkap, yang menyebabkan teknisi bekerja dengan metode berbeda-beda sehingga proses menjadi kurang efisien dan rawan kesalahan, padahal SOP yang lengkap akan memastikan konsistensi kerja dan meningkatkan kualitas hasil instalasi.

3.1 Hasil Observasi

Observasi dilakukan pada tahap awal instalasi teknologi 3D Printing konstruksi meliputi persiapan lokasi, pemasangan mesin, kalibrasi, persiapan material, dan trial printing. Ditemukan kendala berupa kompetensi operator, kalibrasi mesin, konsistensi material, dan kondisi lingkungan.

No.	Gambar	Kendala	Solusi
1.		Posisi chain holder tidak lurus kedepan dan terjadi salah pemasangan chain holder dan tidak ada lubang untuk memindahkan posisi chain holder, Seperti gambar di samping, yang saya lingkari itu posisi lubang yang lama.	 Kami membuat lubang baru untuk memasang chain holder tersebut dengan cara mendrill , untuk membuat lubang baru dan hasilnya, posisi chain holder lurus kedepan

2.		Posisi tiang X truss tidak lurus ke posisi Z truss, setelah kami ukur menggunakan alat ukur meterean ternyata tiang X truss lebih 50 cm ke kiri dan mengakibatkan posisi terhadap Z truss jadi tidak lurus.	 Solusi yang kami dapatkan adalah mendorong posisi Z base/dudukan truss ke kiri sebanyak 50 cm untuk menyesuaikan posisi dari tiang X truss
----	---	--	---

3.2 ANALISIS DATA

Analisis data pada penelitian ini dilakukan menggunakan model analisis interaktif Miles dan Huberman yang meliputi tahapan pengumpulan data, reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan. Data diperoleh melalui observasi langsung selama proses instalasi teknologi 3D Printing konstruksi, wawancara dengan Project Manager, Site Engineer, teknisi, operator, dan Quality Control, serta dokumentasi berupa foto proses instalasi, laporan pekerjaan, SOP, dan hasil trial printing. Analisis dilakukan untuk mengetahui kendala yang terjadi pada tahap awal instalasi beserta penyebab, dampak, dan solusi yang diterapkan.

3.2.1 Analisis Kendala Posisi Chain Holder

Hasil observasi menunjukkan bahwa pada tahap pemasangan sistem penggerak (chain holder) ditemukan ketidaksesuaian posisi komponen. Chain holder tidak berada pada posisi lurus terhadap jalur pergerakan rantai sehingga menyebabkan ketidaksejajaran mekanisme transmisi. Setelah dilakukan pemeriksaan diketahui bahwa lubang pemasangan yang tersedia dari pabrik tidak sesuai dengan kondisi aktual mesin sehingga posisi chain holder bergeser dari titik ideal. Kondisi tersebut menyebabkan rantai tidak bekerja secara optimal dan berpotensi menimbulkan gesekan berlebih, suara bising, bahkan mempercepat keausan sprocket dan rantai apabila mesin langsung dioperasikan.

Berdasarkan hasil diskusi dengan teknisi, solusi yang dilakukan adalah membuat lubang baru menggunakan mesin bor (drilling) sehingga posisi chain holder dapat dipindahkan hingga benar-benar sejajar dengan jalur rantai. Setelah dilakukan pemasangan ulang, alignment sistem transmisi menjadi lebih baik dan pergerakan rantai menjadi lebih stabil.

3.2.2 Analisis Kendala Ketidaksejajaran Tiang X-Truss terhadap Z-Truss

Selama proses perakitan rangka mesin ditemukan bahwa posisi tiang X-Truss tidak sejajar dengan Z-Truss. Permasalahan ini disebabkan oleh kesalahan pengukuran ketika menentukan posisi dudukan (base) Z-Truss pada saat pemasangan awal. Ketidaksesuaian posisi tersebut mengakibatkan struktur rangka mengalami deviasi sehingga berpotensi mengurangi akurasi gerakan nozzle ketika proses pencetakan berlangsung. Apabila kondisi ini tidak segera diperbaiki maka hasil cetakan berpotensi mengalami penyimpangan dimensi.

Solusi yang dilakukan di lapangan adalah menggeser posisi dudukan Z-Truss ke arah kiri hingga seluruh rangka kembali sejajar berdasarkan hasil pengukuran ulang menggunakan alat ukur. Setelah dilakukan penyetelan ulang, posisi sumbu X dan Z menjadi lebih presisi sehingga proses instalasi dapat dilanjutkan.

3.2.3 Analisis Kompetensi Operator

Hasil wawancara menunjukkan bahwa sebagian operator masih berada pada tahap adaptasi terhadap teknologi 3D Printing konstruksi. Operator belum sepenuhnya memahami prosedur instalasi, kalibrasi mesin, maupun pengaturan parameter pencetakan. Kurangnya pengalaman tersebut menyebabkan waktu instalasi menjadi lebih lama karena beberapa tahapan harus diulang akibat kesalahan pemasangan maupun pengaturan mesin. Selain itu operator masih sering bergantung kepada teknisi senior ketika terjadi kendala.

Berdasarkan hasil analisis, peningkatan kompetensi operator melalui pelatihan teknis, praktik langsung, dan sertifikasi menjadi solusi yang paling efektif untuk meningkatkan kemampuan operator sehingga kesalahan instalasi dapat diminimalkan.

3.2.4 Analisis Standar Operasional Prosedur (SOP)

Dari hasil observasi diketahui bahwa proses instalasi masih mengacu pada pengalaman teknisi tanpa adanya SOP yang lengkap dan terdokumentasi. Akibatnya setiap teknisi memiliki metode kerja yang berbeda sehingga waktu instalasi menjadi tidak konsisten. Berdasarkan hasil wawancara dengan Project Manager, perusahaan masih menyusun SOP instalasi karena teknologi ini masih tergolong baru di Indonesia.

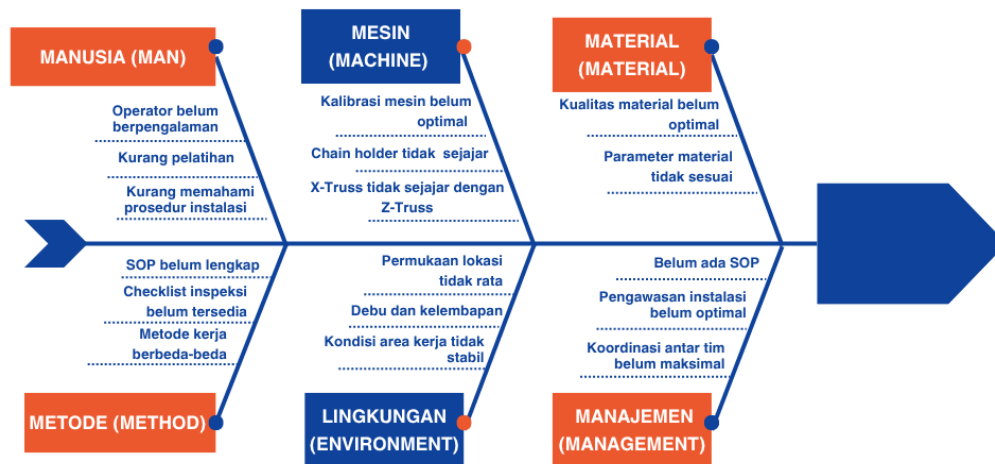
Kondisi tersebut menyebabkan proses inspeksi menjadi lebih sulit dilakukan karena belum terdapat standar yang dapat dijadikan acuan. Oleh sebab itu penyusunan SOP instalasi beserta checklist inspeksi menjadi kebutuhan utama agar proses instalasi dapat berjalan secara konsisten.

3.2.5 Analisis Kondisi Lingkungan

Observasi menunjukkan bahwa kondisi lingkungan kerja turut mempengaruhi proses instalasi. Permukaan lokasi yang kurang rata, perubahan cuaca, debu, serta kelembapan dapat mempengaruhi ketelitian proses penyetelan mesin. Lingkungan kerja yang kurang terkendali dapat menyebabkan perubahan posisi komponen ketika proses alignment berlangsung sehingga diperlukan pemeriksaan ulang sebelum mesin dioperasikan. Oleh karena itu diperlukan persiapan area kerja yang lebih baik, pengendalian kondisi lingkungan, serta pemeriksaan level pondasi sebelum proses instalasi dimulai.

3.2.6 Tabel Ringkasan Hasil Analisis Data

No	Kendala	Penyebab	Dampak	Solusi
1	Chain holder tidak sejajar	Posisi lubang pemasangan tidak sesuai	Rantai tidak sejajar dan berpotensi aus	Membuat lubang baru dan memasang ulang chain holder
2	X-Truss tidak sejajar dengan Z-Truss	Kesalahan pengukuran saat instalasi	Gerakan nozzle menjadi tidak presisi	Menggeser posisi base Z-Truss dan melakukan alignment ulang
3	Operator belum berpengalaman	Kurangnya pelatihan	Instalasi lebih lama dan sering terjadi kesalahan	Pelatihan dan sertifikasi operator
4	SOP belum lengkap	Belum tersedia standar instalasi	Metode kerja berbeda-beda	Menyusun SOP dan checklist inspeksi
5	Lingkungan kerja kurang mendukung	Permukaan lokasi dan cuaca berubah	Ketelitian instalasi menurun	Persiapan lokasi dan pengendalian lingkungan



3.3 PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan tahap awal instalasi teknologi 3D Printing konstruksi tidak hanya dipengaruhi oleh spesifikasi mesin, tetapi juga oleh kesiapan sumber daya manusia, metode kerja, serta kondisi lingkungan. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, kendala yang paling dominan berasal dari proses perakitan mekanik, khususnya pada pemasangan chain holder dan alignment rangka mesin. Ketidaksesuaian posisi kedua komponen tersebut menyebabkan proses instalasi memerlukan penyesuaian ulang agar sistem gerak mesin dapat bekerja secara presisi. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi pemasangan komponen mekanik merupakan faktor yang sangat menentukan kualitas instalasi. Selain faktor mekanik, kompetensi operator juga menjadi salah satu penyebab utama munculnya kendala selama instalasi. Operator yang belum memiliki pengalaman cukup memerlukan waktu lebih lama dalam memahami prosedur pemasangan, kalibrasi, dan pengoperasian mesin. Oleh karena itu, perusahaan perlu memberikan pelatihan teknis secara berkala agar kemampuan operator meningkat dan risiko kesalahan dapat dikurangi. Penelitian ini juga menemukan bahwa belum tersedianya Standar Operasional Prosedur (SOP) yang lengkap menyebabkan proses instalasi belum memiliki standar kerja yang seragam. Akibatnya, setiap teknisi menerapkan metode berdasarkan pengalaman masing-masing sehingga efektivitas pekerjaan menjadi kurang optimal. Penyusunan SOP yang rinci akan membantu teknisi mengikuti tahapan instalasi secara sistematis, mempermudah proses inspeksi, dan meningkatkan kualitas hasil pekerjaan. Faktor lingkungan kerja juga memberikan pengaruh terhadap proses instalasi. Permukaan lokasi yang kurang rata, perubahan suhu, serta kondisi cuaca dapat mempengaruhi proses penyetelan mesin dan ketelitian alignment. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh kendala yang ditemukan masih dapat diatasi melalui tindakan perbaikan yang tepat. Perbaikan mekanik dilakukan melalui penyesuaian posisi komponen, peningkatan kompetensi operator dilakukan melalui pelatihan dan sertifikasi, penyusunan SOP dilakukan untuk menyeragamkan metode kerja, sedangkan pengendalian lingkungan bertujuan menjaga kestabilan proses instalasi. Dengan menerapkan solusi tersebut, proses instalasi teknologi 3D Printing konstruksi dapat berlangsung lebih efektif, efisien, dan menghasilkan mesin yang siap digunakan untuk proses pencetakan sesuai spesifikasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan analisis data pada tahap awal instalasi teknologi 3D Printing konstruksi, dapat disimpulkan bahwa proses instalasi masih menghadapi beberapa kendala utama, yaitu ketidaksesuaian pemasangan komponen mekanik (chain holder dan alignment X-Truss terhadap Z-Truss), keterbatasan kompetensi operator, belum tersedianya Standar Operasional Prosedur (SOP) yang lengkap, serta pengaruh kondisi lingkungan kerja terhadap ketelitian proses instalasi. Kendala-kendala tersebut berdampak pada meningkatnya waktu instalasi, menurunnya efisiensi pekerjaan, serta berpotensi memengaruhi kualitas dan akurasi hasil pencetakan.

Upaya perbaikan yang dilakukan, seperti penyesuaian posisi komponen, pelatihan dan sertifikasi operator, penyusunan SOP instalasi yang terstandar, serta pengendalian kondisi lingkungan kerja, terbukti mampu mengurangi kendala yang terjadi dan meningkatkan efektivitas proses instalasi. Oleh karena itu, keberhasilan implementasi teknologi 3D Printing konstruksi pada tahap awal sangat bergantung pada kesiapan aspek teknis, sumber daya manusia, dan penerapan prosedur kerja yang terstandarisasi sehingga proses instalasi dapat berjalan lebih efisien, aman, dan menghasilkan kualitas cetak yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yin, J., Suo, Y., Lv, T., Ma, K. B., Wang, X., & Zhang, Z. (2022). *Application of 3D Printing Technology in the Construction Industry and Its Development Prospects*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/ahis.k.220601.002>
- [2] Al-Tamimi, A. K., Alqamish, H. H., Khaldoune, A., Alhaidary, H., & Shirvanimoghaddam, K. (2023). *Framework of 3D Concrete Printing Potential and Challenges*. *Buildings*, 13(3), 827. <https://doi.org/10.3390/buildings13030827>
- [3] Akman, A., & Sadhu, A. (2024). *Recent Development of 3D-Printing Technology in Construction Engineering*. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 29(1), 03123005. <https://doi.org/10.1061/PPSCFX.SCENG-1278>
- [4] Besklubova, S., Skibniewski, M. J., & Zhang, X. (2021). *Factors Affecting 3D Printing Technology Adaptation in Construction*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(5), 04021026. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002034](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002034)
- [5] Khan, S. A., Koç, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). *Sustainability Assessment, Potentials and Challenges of 3D Printed Concrete Structures: A Systematic Review for Built Environmental Applications*. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127027. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127027>
- [6] Tu, H., Wei, Z., Bahrami, A., Ben Kahla, N., Ahmad, A., & Özkılıç, Y. O. (2023). *Recent Advancements and Future Trends in 3D Concrete Printing Using Waste Materials*. *Developments in the Built Environment*, 16, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100187>
- [7] Rollakanti, C. R., & Prasad, C. V. S. R. (2022). *Applications, Performance, Challenges and Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies as the Future of Sustainable Construction – A State of the Art Review*. *Materials Today: Proceedings*, 65, 995–1000. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.619>