

Integrasi Building Information Modeling dan *Lean Construction* dalam Pengendalian *Waste Material* Beton pada Proyek Konstruksi: Kajian Literatur

Restu Adji Nugroho¹, Irika Widiyanti^{2*}, Muh Abdhy Ghazali HS³

^{1,2}Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

³Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

*Koresponden email: irika@unj.ac.id

Diterima: 17 Juni 2026

Disetujui: 22 Juni 2026

Abstract

Material waste is one of the most common issues in construction projects, leading to increased project costs and reduced efficiency in resource utilization. Along with the advancement of construction technologies, Building Information Modeling (BIM) and Lean Construction have emerged as effective approaches for improving efficiency and reducing material waste. This study aims to analyze the potential integration of BIM 9D and Lean Construction in reducing concrete material waste in construction projects through a literature review approach. The review was conducted on 15 scientific articles published between 2018 and 2025 related to material waste, Lean Construction, BIM, Quantity Take Off (QTO), and BIM 9D. The findings indicate that Lean Construction is effective in identifying and reducing non-value-adding activities, while BIM improves the accuracy of material quantity estimation through a more detailed and integrated QTO process. The integration of both approaches within the BIM 9D concept has the potential to support more systematic and data-driven control of concrete material requirements. Furthermore, the review reveals that studies focusing on the identification of additional concrete volume components as a basis for determining material orders remain limited and require further investigation.

Keywords: *building information modeling, lean construction, quantity take off, concrete material waste*

Abstrak maksimal 200 kata

Pemborosan material (*waste material*) merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada proyek konstruksi dan dapat menyebabkan peningkatan biaya serta menurunkan efisiensi penggunaan sumber daya. Seiring perkembangan teknologi konstruksi, *Building Information Modeling* (BIM) dan *Lean Construction* menjadi pendekatan yang banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi serta mengurangi pemborosan material. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi integrasi BIM 9D dan *Lean Construction* dalam pengurangan *waste material* beton pada proyek konstruksi melalui metode *literature review*. Kajian dilakukan terhadap 15 artikel ilmiah yang dipublikasikan pada periode 2018–2025 dan memiliki keterkaitan dengan *waste material*, *Lean Construction*, BIM, *Quantity Take Off* (QTO), serta BIM 9D. Hasil kajian menunjukkan bahwa *Lean Construction* efektif dalam mengidentifikasi dan mengurangi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value adding activities*), sedangkan BIM mampu meningkatkan akurasi perhitungan kuantitas material melalui proses QTO yang lebih detail dan terintegrasi. Integrasi keduanya dalam konsep BIM 9D berpotensi mendukung pengendalian kebutuhan material beton secara lebih sistematis dan berbasis data. Selain itu, kajian ini menunjukkan bahwa penelitian terkait identifikasi komponen volume tambahan beton sebagai dasar penentuan kebutuhan pemesanan material masih terbatas sehingga memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Kata Kunci: *pemodelan informasi bangunan, konstruksi ramping, perhitungan kuantitas, limbah material beton*

1. Pendahuluan

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor yang berperan penting dalam pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan ekonomi suatu negara. Aktivitas konstruksi mencakup pembangunan gedung, prasarana teknik sipil, serta berbagai fasilitas pendukung lainnya yang memerlukan pengelolaan sumber daya secara efektif dan efisien [1]. Seiring meningkatnya kompleksitas proyek konstruksi, baik dari aspek teknis maupun manajerial, kebutuhan akan penerapan manajemen konstruksi yang terintegrasi menjadi semakin penting untuk menjamin tercapainya target biaya, mutu, dan waktu proyek [2]. Salah satu

aspek yang memegang peranan penting dalam keberhasilan proyek konstruksi adalah pengelolaan material, karena material merupakan komponen dengan proporsi biaya terbesar dalam pelaksanaan proyek [3].

Permasalahan yang masih sering dijumpai pada proyek konstruksi adalah terjadinya pemborosan material (*waste material*). Pemborosan material dapat menimbulkan kerugian finansial, menurunkan produktivitas proyek, serta meningkatkan dampak lingkungan akibat penggunaan sumber daya yang tidak efisien [4]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemborosan material konstruksi dapat mencapai 10–15% dari total penggunaan material proyek [5]. Salah satu material yang memiliki tingkat pemborosan cukup tinggi adalah beton, terutama pada pekerjaan struktur yang menggunakan beton siap pakai (*ready-mix concrete*) [6]. Pemborosan beton umumnya disebabkan oleh kesalahan estimasi volume, perubahan pekerjaan di lapangan, kesalahan pelaksanaan, serta praktik penambahan volume pemesanan sebagai cadangan untuk menghindari kekurangan material saat proses pengecoran berlangsung [7].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengurangi pemborosan material pada proyek konstruksi. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan adalah *Lean Construction*, yaitu konsep manajemen konstruksi yang berfokus pada eliminasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value adding activities*) serta peningkatan efisiensi proses konstruksi secara menyeluruh [8]. Penerapan *Lean Construction* terbukti mampu mengurangi pemborosan material, meningkatkan produktivitas, serta mendukung efisiensi biaya dan waktu proyek [9]. Selain itu, penerapan *Lean Six Sigma* sebagai pengembangan prinsip *Lean Construction* juga menunjukkan pengaruh signifikan terhadap pengendalian pemborosan material pada proyek konstruksi [10].

Perkembangan teknologi digital mendorong penerapan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai salah satu solusi dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan proyek konstruksi. *Building Information Modeling* (BIM) merupakan representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu bangunan yang memungkinkan integrasi informasi proyek dalam satu model terpusat [11]. Pemanfaatan BIM tidak hanya digunakan untuk visualisasi tiga dimensi bangunan, tetapi juga berkembang menjadi alat yang mampu mendukung proses estimasi kuantitas material, koordinasi desain, pengendalian biaya, penjadwalan, hingga pengelolaan proyek secara terintegrasi [12]. Dalam bidang estimasi material, BIM terbukti mampu meningkatkan akurasi *Quantity Take-Off* (QTO) melalui proses perhitungan volume yang lebih detail, konsisten, dan terotomatisasi dibandingkan metode konvensional [13].

Perkembangan BIM juga melahirkan konsep BIM 9D atau *Lean BIM* yang mengintegrasikan prinsip-prinsip *Lean Construction* ke dalam lingkungan digital BIM untuk mengoptimalkan efisiensi penggunaan sumber daya dan meminimalkan pemborosan selama siklus hidup proyek [14]. Melalui pendekatan ini, berbagai bentuk *waste* dapat diidentifikasi sejak tahap perencanaan sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan lebih awal. Implementasi *Lean BIM* memungkinkan terciptanya sistem konstruksi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan berbasis data dalam pengambilan keputusan proyek [15].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan BIM berbasis *Cubicost* mampu menghasilkan perhitungan *Quantity Take-Off* yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional serta mampu merepresentasikan kondisi kebutuhan material yang lebih mendekati kondisi aktual di lapangan [13], [16]. Selain itu, penggunaan BIM dalam proses estimasi material dapat membantu mengurangi pemborosan beton dan meningkatkan efektivitas perencanaan kebutuhan material konstruksi [17]. Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji hubungan antara penerapan BIM 9D, estimasi kebutuhan beton, dan pengurangan *waste material* beton masih relatif terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan kajian literatur yang lebih mendalam mengenai pemanfaatan *Building Information Modeling* (BIM), khususnya BIM 9D (*Lean BIM*), dalam mendukung pengurangan *waste material* beton melalui peningkatan akurasi estimasi kebutuhan material. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai penelitian terdahulu terkait penerapan BIM dan *Lean Construction* dalam pengendalian *waste material* beton pada proyek konstruksi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Literatur Review* untuk mengkaji berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pemborosan material beton (*waste material concrete*), penerapan *Lean Construction*, serta pemanfaatan *Building Information Modeling* (BIM) dalam meningkatkan akurasi estimasi kebutuhan material pada proyek konstruksi. Metode ini digunakan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai perkembangan penelitian, temuan-temuan utama, serta peluang pengembangan penelitian terkait integrasi BIM dan *Lean Construction* dalam pengurangan pemborosan material konstruksi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai artikel ilmiah nasional maupun internasional yang dipublikasikan pada jurnal, prosiding, dan konferensi ilmiah. Pencarian literatur dilakukan melalui beberapa basis data akademik, seperti Google Scholar,

ScienceDirect, dan jurnal terakreditasi nasional dengan menggunakan kata kunci waste material, concrete waste, Lean Construction, Building Information Modeling (BIM), Quantity Take Off (QTO), BIM 9D, dan Cubicost.

Artikel yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan beberapa kriteria, yaitu: (1) membahas pemborosan material pada proyek konstruksi, khususnya material beton; (2) membahas penerapan *Lean Construction* dalam pengurangan pemborosan material; (3) membahas pemanfaatan *Building Information Modeling* (BIM) dalam estimasi kebutuhan material atau *Quantity Take Off* (QTO); (4) membahas integrasi BIM dan *Lean Construction* dalam meningkatkan efisiensi proyek konstruksi; serta (5) diterbitkan dalam rentang tahun 2017–2025. Berdasarkan proses seleksi tersebut diperoleh 15 artikel yang relevan untuk dianalisis lebih lanjut.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif melalui tahapan identifikasi, klasifikasi, dan sintesis hasil penelitian dari setiap artikel yang telah dipilih. Hasil analisis kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa tema utama, yaitu waste material beton pada proyek konstruksi, penerapan *Lean Construction* dalam pengendalian waste material, pemanfaatan BIM dalam estimasi kebutuhan material, serta integrasi BIM 9D dan *Lean Construction* dalam mendukung pengurangan pemborosan material beton.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Artikel yang Dikaji

Literatur review pada penelitian ini dilakukan dengan mengkaji berbagai artikel ilmiah yang membahas pemborosan material konstruksi, khususnya material beton, penerapan *Lean Construction*, serta pemanfaatan *Building Information Modeling* (BIM) dalam meningkatkan akurasi estimasi kebutuhan material. Proses seleksi dilakukan berdasarkan kesesuaian topik penelitian, keterkaitan dengan tujuan kajian, serta relevansi terhadap pengurangan waste material pada proyek konstruksi. Artikel yang dipilih terdiri atas jurnal nasional dan internasional yang diterbitkan pada rentang tahun 2018–2025. Berdasarkan hasil seleksi literatur, diperoleh 15 artikel yang memenuhi kriteria dan digunakan sebagai sumber utama dalam proses analisis. Daftar artikel yang dikaji dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Artikel yang Dikaji

No	Penulis	Tahun	Judul Penelitian
1	Liman & Sulistio	2020	Waste Material Beton pada Proyek Konstruksi di Jakarta
2	Allo & Bhaskara	2022	Analisis Waste Material dengan Penerapan <i>Lean Construction</i>
3	Hadi et al.	2025	Optimalisasi Strategi <i>Lean Construction</i> dalam Meminimalkan Pemborosan Material
4	Iyai & Kaming	2023	Analisis Penerapan <i>Lean Six Sigma</i> terhadap Pengendalian Pemborosan Material
5	Rahardian et al.	2025	Analisis Penerapan Metode <i>Lean Construction</i> pada Proyek Konstruksi
6	Danureswara & Suropto	2025	Evaluasi Non-Physical Waste pada Proyek Konstruksi dengan <i>Lean Construction</i>
7	Bilqis & Safri	2024	Penggunaan Cubicost TAS pada Perhitungan QTO Pekerjaan Pengecoran Struktur Gedung
8	Safri & Hermania	2024	Analysis of Waste Material Coefficient for Concrete Casting Work Using BIM Cubicost TAS
9	Sapitri et al.	2024	Estimasi Quantity Take Off dan Simulasi Progress Pekerjaan Struktur dengan Pendekatan BIM
10	Priskila	2023	Implementasi Metode BIM terhadap Pembuatan Bill of Quantity (BOQ)
11	Suarja	2025	Analisis Perbandingan Quantity Take Off Menggunakan Autodesk Revit dengan Metode Konvensional
12	Khasani & Hidayat	2018	Assessment of BIM in High-Rise Building Construction in Indonesia
13	Ershadi et al.	2021	Implementation of Building Information Modelling in Infrastructure Construction Projects
14	Jaiswal et al.	2022	Integrating Total Quality Management with 9D-BIM
15	Yudha et al.	2025	Literature Review: Pemanfaatan BIM dalam Konstruksi sebagai Alat Komunikasi dan Kolaborasi

3.2 Sintesis Hasil penelitian

Sintesis hasil penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi temuan-temuan utama dari setiap artikel yang telah dikaji. Proses sintesis difokuskan pada aspek pemborosan material beton (*waste material*), penerapan *Lean Construction*, pemanfaatan *Building Information Modeling (BIM)* dalam estimasi kebutuhan material, serta integrasi *BIM* dan *Lean Construction* dalam meningkatkan efisiensi proyek konstruksi. Ringkasan hasil analisis dari masing-masing penelitian disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Artikel yang Dikaji

No	Penulis	Fokus Penelitian	Hasil Utama
1	Liman & Sulistio (2020)	Waste beton	Beton termasuk material dengan tingkat pemborosan yang tinggi pada proyek konstruksi
2	Allo & Bhaskara (2022)	Lean Construction	Lean Construction efektif mengidentifikasi dan mengurangi waste material
3	Hadi et al. (2025)	Waste material	Pemborosan material dapat ditekan melalui strategi Lean Construction
4	Iyai & Kaming (2023)	Lean Six Sigma	Lean Six Sigma berpengaruh terhadap pengendalian waste material, waktu, dan biaya
5	Rahardian et al. (2025)	Lean Construction	Perencanaan material yang tidak tepat menjadi salah satu penyebab waste
6	Danureswara & Suropto (2025)	Non-Physical Waste	Lean Construction mampu meningkatkan efisiensi proyek melalui pengurangan aktivitas tidak bernilai tambah
7	Bilqis & Safri (2024)	BIM Cubicost TAS	BIM menghasilkan perhitungan QTO yang lebih akurat dibanding metode manual
8	Safri & Hermania (2024)	Waste coefficient	BIM Cubicost mampu menghasilkan koefisien waste yang lebih mendekati kondisi aktual lapangan
9	Sapitri et al. (2024)	BIM Quantity Take Off	BIM meningkatkan ketelitian estimasi volume pekerjaan struktur
10	Priskila (2023)	BIM BOQ	BIM mempermudah penyusunan Bill of Quantity secara otomatis
11	Suarja (2025)	Revit vs Konvensional	QTO berbasis BIM menghasilkan perhitungan yang lebih efisien dan akurat
12	Khasani & Hidayat (2018)	BIM Indonesia	BIM memberikan manfaat dalam efisiensi proses konstruksi
13	Ershadi et al. (2021)	Dimensi BIM	BIM berkembang dari pemodelan 3D menjadi sistem informasi multidimensi
14	Jaiswal et al. (2022)	BIM 9D	BIM 9D mengintegrasikan prinsip Lean Construction untuk meminimalkan waste
15	Yudha et al. (2025)	Literature Review BIM	BIM meningkatkan kolaborasi dan integrasi informasi proyek

Berdasarkan hasil sintesis terhadap 15 artikel yang telah dikaji, dapat diketahui bahwa penelitian mengenai pengurangan *waste material* pada proyek konstruksi umumnya berfokus pada dua pendekatan utama, yaitu penerapan *Lean Construction* dan pemanfaatan *Building Information Modeling (BIM)*. Penelitian yang dilakukan oleh Allo dan Bhaskara (2022), Hadi et al. (2025), Iyai dan Kaming (2023), Rahardian et al. (2025), serta Danureswara dan Suropto (2025) menunjukkan bahwa *Lean Construction* merupakan pendekatan yang efektif dalam mengidentifikasi sumber pemborosan serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya proyek. Melalui penerapan prinsip lean, aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dapat diminimalkan sehingga tingkat pemborosan material dapat dikurangi secara signifikan.

Di sisi lain, penelitian yang dilakukan oleh Bilqis dan Safri (2024), Safri dan Hermania (2024), Sapitri et al. (2024), Priskila (2023), dan Suarja (2025) menunjukkan bahwa pemanfaatan *BIM* mampu meningkatkan akurasi perhitungan kuantitas material melalui proses *Quantity Take Off (QTO)* yang lebih detail dan terintegrasi dibandingkan metode konvensional. Penggunaan *BIM* tidak hanya membantu menghasilkan estimasi volume yang lebih akurat, tetapi juga mendukung proses perencanaan kebutuhan material sehingga potensi terjadinya kelebihan maupun kekurangan material dapat diminimalkan.

Selain itu, perkembangan *BIM* yang mengarah pada konsep *BIM 9D* atau *Lean BIM* menunjukkan adanya integrasi antara teknologi digital dan prinsip *Lean Construction*. Penelitian yang dilakukan oleh

Jaiswal et al. (2022) serta Ershadi et al. (2021) menjelaskan bahwa integrasi tersebut memungkinkan identifikasi dan pengendalian pemborosan dilakukan sejak tahap perencanaan melalui pemanfaatan data yang lebih akurat dan terstruktur. Dengan demikian, BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat pemodelan dan estimasi kuantitas, tetapi juga sebagai sarana pengambilan keputusan yang mendukung peningkatan efisiensi penggunaan material konstruksi.

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian yang telah dikaji, dapat disimpulkan bahwa kombinasi antara pendekatan *Lean Construction* dan teknologi BIM memiliki potensi yang besar dalam mengurangi pemborosan material pada proyek konstruksi. Namun demikian, penelitian yang secara khusus membahas identifikasi komponen-komponen volume tambahan beton sebagai dasar penentuan kebutuhan pemesanan beton masih relatif terbatas. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai pemanfaatan BIM, khususnya BIM 9D, dalam mendukung perhitungan kebutuhan beton yang lebih akurat dan berorientasi pada pengurangan *waste material*.

3.3 Waste Material Beton pada Proyek Konstruksi

Waste material merupakan salah satu permasalahan yang masih sering terjadi dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Menurut Ajayi et al. [18], pemborosan material tidak hanya menyebabkan peningkatan biaya proyek tetapi juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan akibat penggunaan sumber daya yang berlebihan. Material yang mengalami pemborosan dapat berasal dari berbagai jenis pekerjaan konstruksi, mulai dari pekerjaan struktur, arsitektur, hingga mekanikal dan elektrik. Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa material beton termasuk salah satu material yang memiliki tingkat pemborosan cukup tinggi dibandingkan material konstruksi lainnya [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Liman dan Sulistio [6] menunjukkan bahwa pemborosan material beton pada proyek konstruksi di Jakarta dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kesalahan perhitungan kebutuhan material, perubahan pekerjaan di lapangan, metode pelaksanaan yang kurang efektif, serta sisa beton yang tidak dapat dimanfaatkan kembali setelah proses pengecoran selesai. Selain itu, penelitian Rahardian et al. [7] menjelaskan bahwa salah satu penyebab utama terjadinya waste material adalah perencanaan kebutuhan material yang kurang akurat sehingga kontraktor cenderung melakukan pemesanan material melebihi kebutuhan aktual sebagai langkah antisipasi terhadap risiko kekurangan material selama pelaksanaan pekerjaan.

Pemborosan beton pada pekerjaan struktur memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan material lainnya. Beton siap pakai (*ready-mix concrete*) harus digunakan dalam waktu tertentu sehingga sisa material yang tidak terpakai umumnya tidak dapat dikembalikan atau digunakan kembali pada pekerjaan lain [6]. Kondisi tersebut menyebabkan kelebihan volume pemesanan beton secara langsung berubah menjadi waste material yang menambah biaya proyek. Hadi et al. [5] menyatakan bahwa pemborosan material konstruksi dapat mencapai 10–15% dari total penggunaan material apabila tidak dilakukan pengendalian yang efektif terhadap proses perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dikaji, dapat disimpulkan bahwa waste material beton umumnya disebabkan oleh ketidaktepatan estimasi kebutuhan material, perubahan pekerjaan di lapangan, serta praktik penambahan volume pemesanan sebagai cadangan untuk menghindari kekurangan material saat pengecoran berlangsung [5], [6], [7]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu meningkatkan akurasi perhitungan kebutuhan beton sehingga volume material yang dipesan dapat lebih sesuai dengan kebutuhan aktual di lapangan. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penerapan *Lean Construction* sebagai sistem pengendalian pemborosan dalam proyek konstruksi.

3.4 *Lean Construction* dalam Pengendalian *Waste Material*

Lean Construction merupakan pendekatan manajemen konstruksi yang dikembangkan untuk meningkatkan nilai (*value*) dan mengurangi berbagai bentuk pemborosan (*waste*) yang terjadi selama proses pelaksanaan proyek. Konsep ini berfokus pada eliminasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value adding activities*) sehingga penggunaan sumber daya proyek dapat dilakukan secara lebih efisien [8]. Dalam praktiknya, *Lean Construction* tidak hanya diterapkan untuk mengurangi pemborosan material, tetapi juga untuk meningkatkan produktivitas tenaga kerja, mengoptimalkan penggunaan waktu, serta memperbaiki kualitas pelaksanaan pekerjaan [9].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Lean Construction* memiliki peran yang signifikan dalam pengendalian waste material pada proyek konstruksi. Allo dan Bhaskara [8] menjelaskan bahwa penerapan *Lean Construction* mampu membantu proses identifikasi sumber-sumber pemborosan material melalui analisis aktivitas kerja dan aliran proses konstruksi. Dengan mengetahui penyebab utama pemborosan,

kontraktor dapat menentukan strategi pengendalian yang lebih efektif untuk meminimalkan kehilangan material selama pelaksanaan proyek. Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Hadi et al. [5] yang menyatakan bahwa penerapan prinsip lean secara konsisten dapat meningkatkan efisiensi penggunaan material serta menurunkan tingkat pemborosan yang terjadi pada pekerjaan konstruksi.

Selain pemborosan material yang bersifat fisik, Lean Construction juga digunakan untuk mengendalikan *non-physical waste* yang dapat memengaruhi kinerja proyek secara keseluruhan. Danureswara dan Suropto [10] menjelaskan bahwa aktivitas seperti menunggu, koordinasi yang tidak efektif, pekerjaan ulang (*rework*), serta keterlambatan pengambilan keputusan merupakan bentuk pemborosan yang sering terjadi pada proyek konstruksi. Melalui penerapan metode Lean Construction, aktivitas-aktivitas tersebut dapat diidentifikasi dan dikurangi sehingga proses pelaksanaan proyek menjadi lebih efisien dan produktif.

Pengembangan konsep Lean Construction juga melahirkan pendekatan Lean Six Sigma yang menggabungkan prinsip pengurangan pemborosan dengan peningkatan kualitas proses. Penelitian Iyai dan Kaming [10] menunjukkan bahwa penerapan Lean Six Sigma memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pengendalian pemborosan material, waktu, dan biaya pada proyek konstruksi. Pendekatan ini membantu perusahaan konstruksi dalam mengidentifikasi variasi proses yang menyebabkan inefisiensi sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan berkelanjutan.

Meskipun Lean Construction terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan, implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam proses pengumpulan data dan pengambilan keputusan yang masih banyak dilakukan secara manual. Keterbatasan tersebut menyebabkan identifikasi waste sering kali dilakukan setelah pemborosan terjadi, sehingga peluang untuk melakukan tindakan pencegahan menjadi berkurang. Oleh karena itu, diperlukan dukungan teknologi yang mampu menyediakan informasi proyek secara lebih akurat, cepat, dan terintegrasi untuk mendukung penerapan Lean Construction secara optimal.

Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk mendukung implementasi Lean Construction adalah Building Information Modeling (BIM). Melalui kemampuan BIM dalam menghasilkan informasi kuantitas material secara otomatis dan akurat, potensi pemborosan dapat diidentifikasi sejak tahap perencanaan sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan lebih awal. Dengan demikian, integrasi antara Lean Construction dan BIM menjadi pendekatan yang menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan material pada proyek konstruksi.

3.5 Pemanfaatan BIM dalam Estimasi Kebutuhan Material

Perkembangan teknologi digital dalam industri konstruksi telah mendorong penerapan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai salah satu metode yang mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan proyek. BIM merupakan representasi digital yang memuat informasi fisik dan fungsional suatu bangunan sehingga memungkinkan seluruh data proyek terintegrasi dalam satu model yang dapat digunakan sepanjang siklus hidup konstruksi [11]. Pemanfaatan BIM tidak hanya terbatas pada visualisasi tiga dimensi bangunan, tetapi juga berkembang sebagai sarana koordinasi, perencanaan, estimasi biaya, penjadwalan, serta pengelolaan sumber daya proyek secara lebih efisien [12].

Salah satu keunggulan utama BIM dalam proyek konstruksi adalah kemampuannya menghasilkan *Quantity Take Off* (QTO) secara otomatis berdasarkan model yang telah dibuat. Metode konvensional yang masih mengandalkan perhitungan manual dari gambar kerja berpotensi menimbulkan kesalahan perhitungan akibat faktor manusia (*human error*) maupun ketidaksesuaian data antar dokumen proyek [13]. Sebaliknya, BIM memungkinkan proses perhitungan volume dilakukan secara lebih cepat, konsisten, dan terintegrasi sehingga dapat meningkatkan akurasi estimasi kebutuhan material [14].

Penelitian yang dilakukan oleh Bilqis dan Safri [13] menunjukkan bahwa penggunaan BIM melalui software Cubicost TAS mampu menghasilkan perhitungan volume pekerjaan pengecoran yang lebih rinci dibandingkan metode konvensional. Melalui integrasi model digital dengan sistem perhitungan kuantitas, kebutuhan beton dapat dihitung secara otomatis berdasarkan elemen struktur yang dimodelkan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan BIM dapat mempermudah proses estimasi material sekaligus mengurangi potensi kesalahan dalam perhitungan volume pekerjaan.

Temuan serupa juga disampaikan oleh Sapitri et al. [17] yang menyatakan bahwa pendekatan BIM pada proses *Quantity Take Off* mampu meningkatkan ketelitian perhitungan volume pekerjaan struktur. Informasi kuantitas material dapat diperoleh secara langsung dari model tanpa perlu melakukan pengukuran berulang pada gambar kerja. Selain meningkatkan akurasi, proses ini juga memberikan efisiensi waktu yang signifikan dibandingkan metode konvensional yang memerlukan proses perhitungan secara manual.

Selain digunakan untuk estimasi kuantitas material, BIM juga dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi kebutuhan material yang lebih mendekati kondisi aktual di lapangan. Penelitian Safri dan Hermania [16] menunjukkan bahwa penggunaan BIM Cubicost TAS mampu menghasilkan koefisien *waste material* beton yang lebih representatif dibandingkan penggunaan faktor pemborosan standar yang umum diterapkan pada proyek konstruksi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat perhitungan volume, tetapi juga dapat digunakan sebagai sarana pengambilan keputusan dalam menentukan kebutuhan material yang lebih akurat.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Priskila [15] dan Suarja [16] menunjukkan bahwa penggunaan BIM dalam penyusunan *Bill of Quantity* (BOQ) dan perhitungan *Quantity Take Off* menghasilkan informasi kuantitas yang lebih detail dibandingkan metode konvensional. Kemampuan BIM dalam mengintegrasikan data geometri dan informasi material memungkinkan perubahan desain diperbarui secara otomatis pada hasil perhitungan kuantitas sehingga risiko terjadinya ketidaksesuaian data dapat diminimalkan. Kondisi tersebut menjadi salah satu faktor yang mendukung peningkatan efisiensi penggunaan material pada proyek konstruksi.

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dikaji, dapat disimpulkan bahwa BIM memberikan kontribusi yang signifikan dalam meningkatkan akurasi estimasi kebutuhan material melalui proses *Quantity Take Off* yang lebih detail, terintegrasi, dan otomatis [13], [16], [17]. Kemampuan tersebut berpotensi mengurangi pemborosan material yang disebabkan oleh kesalahan perhitungan maupun penggunaan faktor cadangan yang tidak didasarkan pada kebutuhan aktual proyek. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada perbandingan akurasi perhitungan volume antara metode BIM dan metode konvensional. Kajian mengenai pemanfaatan BIM untuk mengidentifikasi komponen-komponen volume tambahan yang menjadi dasar penentuan kebutuhan pemesanan beton masih relatif terbatas.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa BIM memiliki potensi yang lebih luas untuk mendukung pengendalian *waste material* apabila dikombinasikan dengan prinsip-prinsip *Lean Construction*. Integrasi antara BIM dan *Lean Construction* kemudian berkembang menjadi konsep BIM 9D atau *Lean BIM* yang berorientasi pada peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya dan pengurangan pemborosan secara sistematis sepanjang siklus hidup proyek konstruksi.

3.5 Integrasi BIM 9D dan Lean Construction dalam Pengurangan Waste Material Beton

Perkembangan Building Information Modeling (BIM) telah mengalami transformasi dari sekadar alat pemodelan tiga dimensi menjadi sistem informasi terintegrasi yang mampu mendukung berbagai aspek manajemen proyek konstruksi. Salah satu perkembangan tersebut adalah munculnya konsep BIM 9D atau *Lean BIM*, yaitu integrasi antara teknologi BIM dengan prinsip-prinsip *Lean Construction* yang berfokus pada peningkatan efisiensi dan pengurangan pemborosan (*waste*) selama siklus hidup proyek [14]. Pendekatan ini memungkinkan proses pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan data yang lebih akurat sehingga berbagai bentuk pemborosan dapat diidentifikasi dan dikendalikan sejak tahap perencanaan.

Menurut Jaiswal et al. [14], BIM 9D dikembangkan untuk mengintegrasikan prinsip *Total Quality Management* dan *Lean Construction* ke dalam lingkungan digital BIM guna menciptakan sistem konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Melalui integrasi tersebut, aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value adding activities*) dapat diminimalkan, sementara pemanfaatan sumber daya proyek dapat dioptimalkan. Pendekatan ini sejalan dengan tujuan utama *Lean Construction* yang menekankan pengurangan waste serta peningkatan nilai (*value*) yang diterima oleh pengguna proyek [8].

Implementasi BIM 9D tidak hanya berfokus pada efisiensi proses konstruksi, tetapi juga mendukung pengelolaan material yang lebih efektif. Ershadi et al. [15] menjelaskan bahwa BIM yang terintegrasi dengan berbagai dimensi informasi mampu menyediakan data yang lebih lengkap dan akurat untuk mendukung proses perencanaan, pelaksanaan, serta pengendalian proyek. Dalam konteks material konstruksi, kemampuan tersebut memungkinkan identifikasi kebutuhan material dilakukan secara lebih rinci sehingga potensi pemborosan akibat kesalahan estimasi dapat diminimalkan.

Hasil kajian terhadap penelitian Bilqis dan Safri [13], Safri dan Hermania [16], serta Sapitri et al. [17] menunjukkan bahwa BIM mampu meningkatkan akurasi perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) dan menghasilkan estimasi kebutuhan material yang lebih mendekati kondisi aktual di lapangan. Sementara itu, penelitian mengenai *Lean Construction* menunjukkan bahwa sebagian besar pemborosan material berasal dari perencanaan yang kurang tepat, aktivitas yang tidak bernilai tambah, serta pengendalian sumber daya yang belum optimal [5], [8], [10]. Oleh karena itu, integrasi BIM dan *Lean Construction* menjadi pendekatan yang saling melengkapi dalam upaya mengurangi pemborosan material pada proyek konstruksi.

Berdasarkan hasil sintesis literatur, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengurangan waste material melalui identifikasi faktor penyebab pemborosan atau peningkatan akurasi perhitungan volume material secara umum. Namun, penelitian yang secara khusus membahas identifikasi komponen-komponen volume tambahan beton sebagai dasar penentuan kebutuhan pemesanan beton masih relatif terbatas. Padahal, dalam praktik konstruksi, volume pemesanan beton sering kali ditambahkan menggunakan faktor cadangan tertentu untuk mengantisipasi kekurangan material saat pengecoran, sehingga berpotensi menimbulkan pemborosan apabila tidak didasarkan pada kebutuhan aktual di lapangan.

Temuan tersebut menunjukkan adanya peluang pengembangan penelitian mengenai pemanfaatan BIM 9D dalam mendukung perhitungan kebutuhan beton yang lebih akurat melalui identifikasi komponen-komponen volume tambahan yang memengaruhi pemesanan material. Dengan memanfaatkan kemampuan BIM dalam menghasilkan data kuantitas yang detail dan terintegrasi, kebutuhan beton dapat dihitung berdasarkan kondisi aktual pekerjaan sehingga penggunaan faktor pemborosan (*waste factor*) dapat dievaluasi secara lebih objektif. Pendekatan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan akurasi estimasi material, tetapi juga mendukung penerapan prinsip Lean Construction dalam mengurangi pemborosan material beton pada proyek konstruksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur terhadap 15 artikel yang membahas *waste material*, *Lean Construction*, *Building Information Modeling* (BIM), dan estimasi kebutuhan material konstruksi, dapat disimpulkan bahwa pemborosan material beton masih menjadi salah satu permasalahan yang sering terjadi pada proyek konstruksi. Pemborosan tersebut umumnya disebabkan oleh ketidaktepatan perencanaan kebutuhan material, kesalahan estimasi volume, perubahan pekerjaan di lapangan, serta penggunaan faktor cadangan (*waste factor*) yang belum sepenuhnya didasarkan pada kebutuhan aktual proyek. Kondisi tersebut tidak hanya meningkatkan biaya konstruksi, tetapi juga mengurangi efisiensi penggunaan sumber daya proyek.

Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan *Lean Construction* merupakan pendekatan yang efektif dalam mengidentifikasi dan mengurangi berbagai bentuk pemborosan melalui eliminasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value adding activities*). Di sisi lain, pemanfaatan BIM terbukti mampu meningkatkan akurasi *Quantity Take Off* (QTO), mempercepat proses perhitungan kuantitas material, serta menghasilkan estimasi kebutuhan material yang lebih detail dan terintegrasi dibandingkan metode konvensional. Integrasi antara BIM dan *Lean Construction* yang berkembang menjadi konsep BIM 9D (*Lean BIM*) memberikan potensi yang besar dalam mendukung pengendalian material konstruksi secara lebih sistematis dan berbasis data.

Berdasarkan hasil sintesis literatur, masih ditemukan keterbatasan penelitian yang secara khusus membahas identifikasi komponen-komponen volume tambahan beton sebagai dasar penentuan kebutuhan pemesanan beton. Sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada peningkatan akurasi perhitungan volume atau pengurangan pemborosan material secara umum. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan BIM 9D dalam mengidentifikasi volume tambahan beton yang memengaruhi kebutuhan pemesanan material sehingga penggunaan *waste factor* dapat ditentukan secara lebih objektif dan sesuai dengan kondisi aktual proyek. Pendekatan tersebut diharapkan dapat mendukung pengurangan pemborosan material beton sekaligus meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek konstruksi.

5. Referensi

- [1] A. U. Sumaga, "Analisis Kepuasan Pengguna Jasa Terhadap Penerapan Manajemen Rekayasa Konstruksi Profesional Ruko Di Kawasan Bussiness Park Kota Gorontalo," *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, vol. 3, 2013.
- [2] F. Lamato, A. Utiahman, dan M. Y. Tuloli, "Analisis Earned Value Terhadap Proyek Pembangunan Renovasi Gedung Kantor BPJN," *Jurnal Vokasi Sains dan Teknologi*, pp. 46–53, 2022.
- [3] F. Lensun, M. Y. Tuloli, dan A. Utiahman, "Analisis Sisa Material Besi Tulangan pada Proyek Pembangunan Terminal Tipe B Limboto," *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 4, 2025.
- [4] I. S. Hadi, S. Susanto, dan F. Rahmawaty, "Optimalisasi Strategi Lean Construction dalam Meminimalkan Pemborosan Material Besi Tulangan pada Proyek Konstruksi Rumah Sakit (Studi Kasus: Rumah Sakit X di Bojonegoro)," *Jurnal Konstruksi*, vol. 23, pp. 27–36, 2025.
- [5] K. Liman dan H. Sulistio, "Waste Material Beton pada Proyek Konstruksi di Jakarta," *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 3, pp. 183–190, 2020.

- [6] R. T. Rahardian, A. G. Prafitasiwi, dan R. D. Sutrisno, “Analisis Penerapan Metode Lean Construction pada Proyek Konstruksi di Kabupaten Gresik (Perumahan The Permata Villas),” *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 2, pp. 46–56, 2025.
- [7] S. Prasetyo, “Analisis Waste Lean Construction terhadap Efisiensi Proyek Konstruksi di Kabupaten Purbalingga,” *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmiah*, vol. 3, pp. 364–377, 2026.
- [8] R. I. G. Allo dan A. Bhaskara, “Analisis Waste Material dengan Penerapan Lean Construction,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 18, 2022.
- [9] B. Setiawan, “Pendekatan Lean Construction dalam Penggunaan Sumber Daya dalam Proyek Konstruksi,” *Journal of Social Science Research*, vol. 4, pp. 5311–5325, 2024.
- [10] R. R. Danureswara dan Suripto, “Evaluasi Non-Physical Waste pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit X dengan Penerapan Lean Construction,” *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure (JACEIT)*, vol. 6, pp. 25–29, 2025.
- [11] G. Y. Iyai dan P. F. Kaming, “Analisis Penerapan Lean Six Sigma terhadap Pengendalian Pemborosan Material, Waktu dan Biaya Berdasarkan Kualifikasi Perusahaan Konstruksi di Jawa Barat,” *Paduraksa*, vol. 12, 2023.
- [12] R. R. Khasani dan A. Hidayat, “Assessment of BIM in High-Rise Building Construction in Indonesia,” *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2018.
- [13] A. N. Bilqis dan Safri, “Penggunaan Cubicost TAS pada Perhitungan QTO Pekerjaan Pengecoran Struktur Konstruksi Gedung,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, vol. 5, pp. 446–455, 2024.
- [14] S. Jaiswal, A.-Q. Gbadamosi, O. Olawale, dan B. Oluwayemi, “Enabling Quality in Lean Construction: Integrating the Principles of Total Quality Management with 9D-BIM,” *International Sustainable Ecological Engineering Design for Society*, 2022.
- [15] M. Ershadi, M. Jefferies, P. Davis, dan M. Mojtahedi, “Implementation of Building Information Modelling in Infrastructure Construction Projects: A Study of Dimensions and Strategies,” *International Journal of Information Systems and Project Management*, vol. 9, pp. 43–59, 2021.
- [16] Safri dan T. O. Hermania, “Analysis of Waste Material Coefficient for Concrete Casting Work Using BIM Cubicost TAS,” *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*, vol. 5, pp. 38–47, 2024.
- [17] Sapitri, R. Subagja, dan B. Annisa, “Estimasi Quantity Take Off dan Simulasi Progress Pekerjaan Struktur dengan Pendekatan Building Information Modeling,” *Cantilever*, vol. 13, pp. 103–112, 2024.
- [18] S. O. Ajayi, L. O. Oyedele, O. O. Akinade, M. Bilal, et al., “Waste Effectiveness of the Construction Industry: Understanding the Impediments and Requisites for Improvements,” *Resources, Conservation and Recycling*, 2017.