

Peningkatan Efisiensi Material dan Reduksi Limbah Beton Melalui Integrasi *Lean Construction* pada Proyek Konstruksi Masjid X di Desa Banjarejo

Adinda Khusnul Khotimah, Sony Susanto*

Universitas Kadiri, Kota Kadiri-64115, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Concrete Waste Reduction;
Continuous Improvement (Kaizen);
Efisiensi Material; *Just-In-Time;*
Lean Construction; Value Stream
Mapping.

***Correspondence email:**

sonysusanto@unik-kediri.ac.id

Submitted: 18 Oktober 2025

Revised: 01 Desember 2025

Accepted: 14 Januari 2026

Published: 02 Februari 2026

ABSTRAK

Limbah beton merupakan salah satu tantangan utama dalam proyek konstruksi dengan tingkat pemborosan relatif tinggi. Tingkat pemborosan pada konstruksi bisa mencapai 5–15%, menyebabkan peningkatan biaya, keterlambatan, dan dampak lingkungan negatif. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas penerapan *Lean Construction* meliputi *Value Stream Mapping* (VSM), *Just-In-Time* (JIT), dan *Continuous Improvement* (Kaizen) dalam pengendalian waste beton pada proyek pembangunan Masjid X di Desa Banjarejo, Indonesia. Data volume beton terencana, terpakai, dan terpasang dikumpulkan untuk lima elemen struktural utama, kemudian dianalisis kuantitatif. Hasil menunjukkan waste beton dapat ditekan hingga 2,25%, jauh di bawah batas toleransi industri sebesar 5%, dengan *Waste Reduction Efficiency* (WRE) mencapai 97,8%. Efisiensi aliran kerja meningkat hingga 80% melalui VSM, pengiriman material mencapai akurasi 100% dengan JIT, dan Kaizen mengurangi idle time tenaga kerja lebih dari 30%. Temuan ini tidak hanya memperkuat kontribusi teoritis *Lean Construction*, tetapi juga menghasilkan model manajemen material yang praktis dan dapat diadopsi pada proyek serupa di Indonesia untuk meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan mitigasi limbah konstruksi.

ABSTRACT

Keywords:

Concrete Waste Reduction;
Continuous Improvement (Kaizen);
Just-In-Time; Lean Construction;
Material Efficiency; Value Stream
Mapping.

Concrete waste is one of the main challenges in construction projects with relatively high levels of waste. The level of waste in construction can reach 5–15%, leading to increased costs, delays, and negative environmental impacts.. This study evaluates the effectiveness of implementing Lean Construction—including Value Stream Mapping (VSM), Just-In-Time (JIT), and Continuous Improvement (Kaizen)—in controlling concrete waste in the construction project of Mosque X in Banjarejo Village, Indonesia. Data on planned, used, and installed concrete volumes were collected for five main structural elements and then analyzed quantitatively. The results show that concrete waste can be reduced to 2.25%, well below the industry tolerance limit of 5%, with a Waste Reduction Efficiency (WRE) of 97.8%. Workflow efficiency increased by up to 80% through VSM, material delivery achieved 100% accuracy with JIT, and Kaizen reduced labor idle time by more than 30%. These findings not only reinforce the theoretical contribution of Lean Construction but also produce a practical material management model that can be adopted in similar projects in Indonesia to improve efficiency, sustainability, and construction waste mitigation.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor dengan tingkat penggunaan sumber daya material yang tinggi dan berdampak signifikan terhadap lingkungan. Beton sebagai material utama dalam sebagian besar proyek konstruksi menyumbang hingga 30–40% dari total limbah konstruksi yang dihasilkan di lapangan (Garcés & Peña, 2023). Di Indonesia, berbagai penelitian menunjukkan bahwa tingkat pemborosan beton pada proyek konvensional dapat mencapai 5–15%, yang berdampak pada meningkatnya biaya proyek, keterlambatan waktu pelaksanaan, dan tekanan terhadap ketersediaan lahan pembuangan limbah (Laika et al., 2022). Tingginya pemborosan ini menandakan perlunya strategi pengelolaan material yang lebih efisien dan berkelanjutan (de Oliveira Rezende et al., 2022).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mencoba mengatasi permasalahan pemborosan beton melalui pendekatan manajemen material konvensional seperti optimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB), pengawasan material, dan peningkatan keterampilan pekerja. Namun, metode tersebut sering kali tidak memberikan hasil yang signifikan dalam menurunkan tingkat waste karena hanya fokus pada kontrol biaya tanpa melihat alur proses konstruksi secara menyeluruh (Paślowski & Rudnicki, 2021). Studi-studi lain juga menggunakan teknologi beton pracetak (precast)

sebagai solusi untuk mengurangi pemborosan, tetapi metode ini memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas desain dan memerlukan investasi alat berat yang cukup besar (Bajjou & Chafi, 2021). Namun, hasil yang diperoleh masih terbatas, dengan tingkat waste tetap berada pada kisaran 5–10%, menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih holistik dan terintegrasi.

Pendekatan Lean Construction muncul sebagai solusi alternatif yang berfokus pada eliminasi pemborosan (waste) dan peningkatan nilai tambah pada setiap tahapan proses konstruksi. Lean Construction menawarkan prinsip seperti Value Stream Mapping (VSM) untuk mengidentifikasi aktivitas non-value added (Terzioglu et al., 2022; Zahraee et al., 2020), Just-In-Time (JIT) untuk mengurangi kelebihan stok beton (Phan & Athigakunagorn, 2022) dan *Continuous Improvement* (Kaizen) untuk perbaikan berkelanjutan pada proses konstruksi (Medina et al., 2024). Beberapa penelitian di luar negeri menunjukkan bahwa penerapan Lean Construction mampu menurunkan pemborosan material hingga 20% dan meningkatkan efisiensi waktu proyek (Arain et al., 2015). Namun, di Indonesia, penerapan prinsip ini masih terbatas dan belum banyak diaplikasikan secara mendalam pada pengendalian waste material beton (Prastowo, 2023).



Gambar 1. Urugan Limbah Material

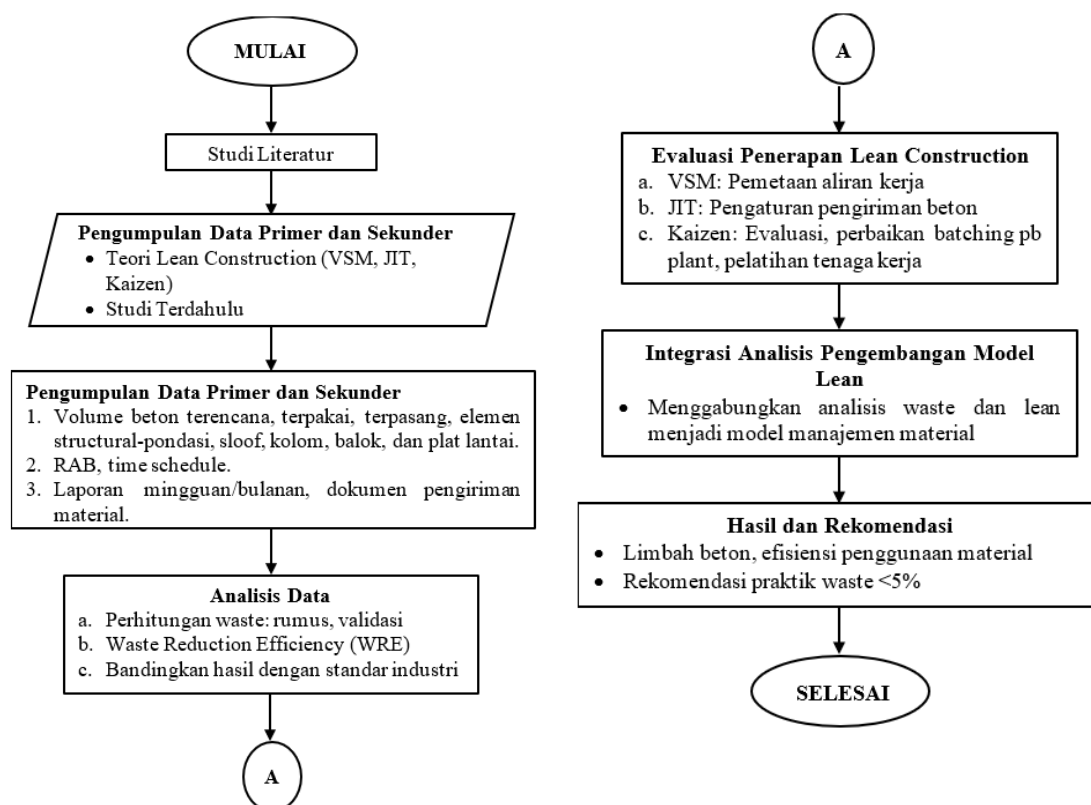
Sumber: Konstruksi Bangunan Masjid X di Banjarejo (2025)

Objek penelitian seperti Gambar 1, pada proyek pembangunan Masjid X karena proyek ini melibatkan penggunaan beton dalam jumlah besar untuk elemen struktural utama seperti pondasi, sloof, kolom, balok, dan plat lantai, sehingga memiliki potensi pemborosan yang signifikan (Bimansyah et al., 2025). Selain itu, proyek ini telah menerapkan sebagian prinsip lean namun belum dilakukan analisis mendalam mengenai efektivitasnya. Dengan mengkaji proyek ini, penelitian bertujuan mengukur tingkat waste material, mengevaluasi efektivitas penerapan Lean Construction, dan memberikan rekomendasi perbaikan manajemen material yang dapat menjadi acuan bagi proyek konstruksi serupa di Indonesia (Hapsari et al., 2021).

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh hasil berupa model penerapan Lean Construction yang mampu menekan tingkat pemborosan beton di bawah standar toleransi industri ($\leq 5\%$), meningkatkan efisiensi penggunaan material hingga mendekati 98%, serta mendukung keberlanjutan proyek konstruksi (Susanto, 2024). Hasil penelitian diperoleh melalui pengukuran volume material, analisis efisiensi waste reduction, pemetaan VSM, evaluasi JIT delivery, dan penerapan Kaizen secara berkelanjutan sepanjang proyek berlangsung.

METODE

Metode penelitian ini disusun secara sistematis untuk mengevaluasi efektivitas penerapan Lean Construction dalam mengurangi limbah beton pada proyek pembangunan Masjid X. Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur dan pengumpulan data primer serta sekunder yang mencakup teori, volume material, dokumen proyek, dan jadwal pekerjaan. Selanjutnya, dilakukan analisis data, evaluasi penerapan Lean Construction (VSM, JIT, Kaizen), hingga integrasi hasil analisis menjadi model manajemen material yang menghasilkan rekomendasi efisiensi penggunaan beton dan strategi pengendalian limbah.



Gambar 2. Bagan Alir

Sumber: Data Olahan (2025)

Gambar 2. Bagan alir tersebut menggambarkan alur penelitian mulai dari studi literatur hingga hasil dan rekomendasi. Proses diawali dengan pengumpulan data primer dan sekunder, termasuk teori Lean Construction, volume beton terencana, laporan proyek, dan dokumen pengiriman material. Data tersebut dianalisis untuk menghitung tingkat limbah, menentukan Waste Reduction Efficiency (WRE), dan membandingkan hasil dengan standar industri. Rumus perhitungan teori Lean Construction sebagai berikut:

Volume Waste (kg)

$$\text{Volume Waste} = \text{Volume Terpakai} - \text{Volume Terpasang} \quad \dots (1)$$

Persentase Waste (%)

$$\text{Waste Level} = \left(\frac{\text{Volume Waste}}{\text{Volume Terpakai}} \right) \times 100 \quad \dots (2)$$

Total Waste Efisiensi Lean Construction (WRE) (%)

$$\text{WRE} = 1 - \left(\frac{\text{Volume Waste}}{\text{Volume Terpakai}} \right) \times 100 \quad \dots (3)$$

Dari perhitungan tersebut selanjutnya dilakukan evaluasi penerapan Lean Construction melalui Value Stream Mapping, Just-In-Time, dan Kaizen, yang kemudian diintegrasikan menjadi model manajemen material sehingga menghasilkan rekomendasi nilai limbah beton dan efisiensi penggunaan material yang sesuai praktik terbaik dengan target waste <5%.

HASIL

Penelitian yang dilakukan pada proyek pembangunan Masjid X di Desa Banjarejo dengan fokus pada analisis pemakaian material beton dan pengendalian limbah konstruksi melalui penerapan konsep Lean Construction. Masjid ini dibangun dengan struktur utama beton bertulang yang meliputi pekerjaan pondasi, kolom, balok, pelat lantai, pasangan dinding bata, serta penyelesaian akhir seperti plesteran, acian, dan pemasangan keramik. Penelitian difokuskan pada analisis pemakaian material beton dan pengendalian limbah konstruksi dengan menerapkan konsep Lean Construction. Pendekatan yang digunakan mencakup pemetaan aliran proses (Value Stream Mapping), pengaturan pengiriman material secara tepat waktu (Just-In-Time), dan penerapan perbaikan berkelanjutan (Kaizen) untuk meminimalkan pemborosan beton.

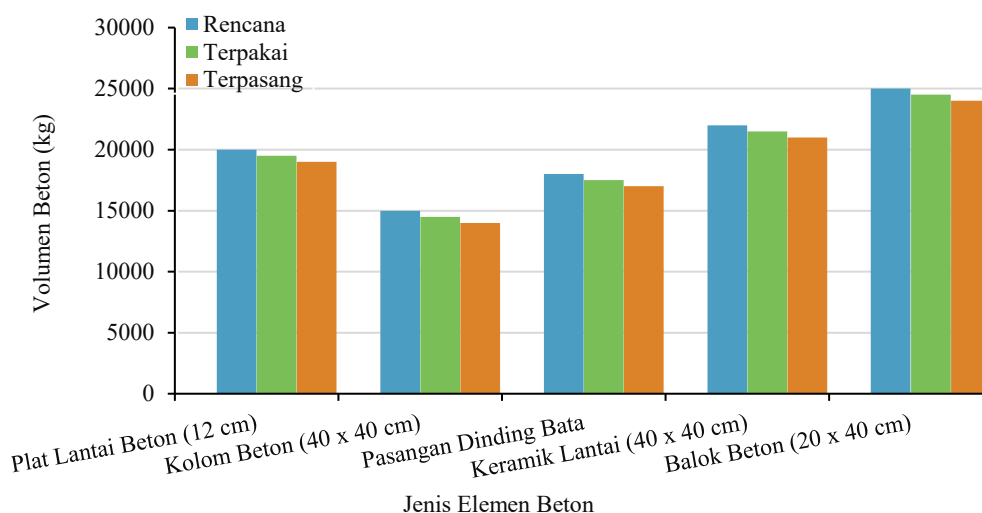
Tabel 1. Hasil Analisis Waste Level

Jenis Beton	Volume Rencana (kg)	Volume Terpakai (kg)	Volume Terpasang (kg)	Volume Waste (kg)	Waste Level (%)
Plat Lantai Beton (12 cm)	20.000	19.500	19.000	500	2,56%
Kolom Beton (40x40 cm)	15.000	14.600	14.300	300	2,05%
Pasangan Dinding Bata	18.000	17.700	17.300	400	2,26%
Keramik Lantai 40x40	22.000	21.500	21.000	500	2,33%
Balok Beton (20x40 cm)	25.000	24.500	24.000	500	2,04%
Total	100.000	97.800	95.600	2.200	2,25%

Sumber: Data Olahan (2025)

Tabel 1. Hasil Analisis Waste Level, menunjukkan bahwa penggunaan beton pada berbagai jenis pekerjaan konstruksi memiliki total volume rencana 100.000 kg, volume terpakai 97.800 kg, dan volume terpasang 95.600 kg, menghasilkan limbah sebesar 2.200 kg atau 2,25%. Nilai ini berada di bawah batas toleransi standar konstruksi sebesar 5%, sehingga pengelolaan material pada proyek ini dapat dikategorikan baik. Tingkat efisiensi penggunaan beton yang diukur dengan Waste Reduction Efficiency (WRE) mencapai 97,8%, menandakan sebagian besar material yang direncanakan telah dimanfaatkan secara optimal. Hasil ini mencerminkan keberhasilan proyek dalam mengendalikan limbah konstruksi, mengurangi kerugian material, dan mendukung prinsip efisiensi serta keberlanjutan pekerjaan.

Distribusi limbah per elemen struktur menunjukkan bahwa plat lantai beton memiliki waste tertinggi sebesar 500 kg (2,56%) akibat penyesuaian ketebalan dan pemotongan material. Keramik lantai mencatat waste yang sama sebesar 500 kg (2,33%) karena pemotongan dan penyusunan ulang saat pemasangan. Pasangan dinding bata dan balok beton menghasilkan waste masing-masing sebesar 400 kg (2,26%) dan 500 kg (2,04%), sedangkan kolom beton memiliki waste terendah sebesar 300 kg (2,05%) berkat dimensi seragam dan proses pengecoran yang lebih terkendali. Temuan ini menunjukkan bahwa pekerjaan yang memerlukan pemotongan dan penyesuaian bentuk cenderung menghasilkan limbah lebih tinggi dibandingkan elemen struktural dengan ukuran standar dan metode pemasangan yang stabil.



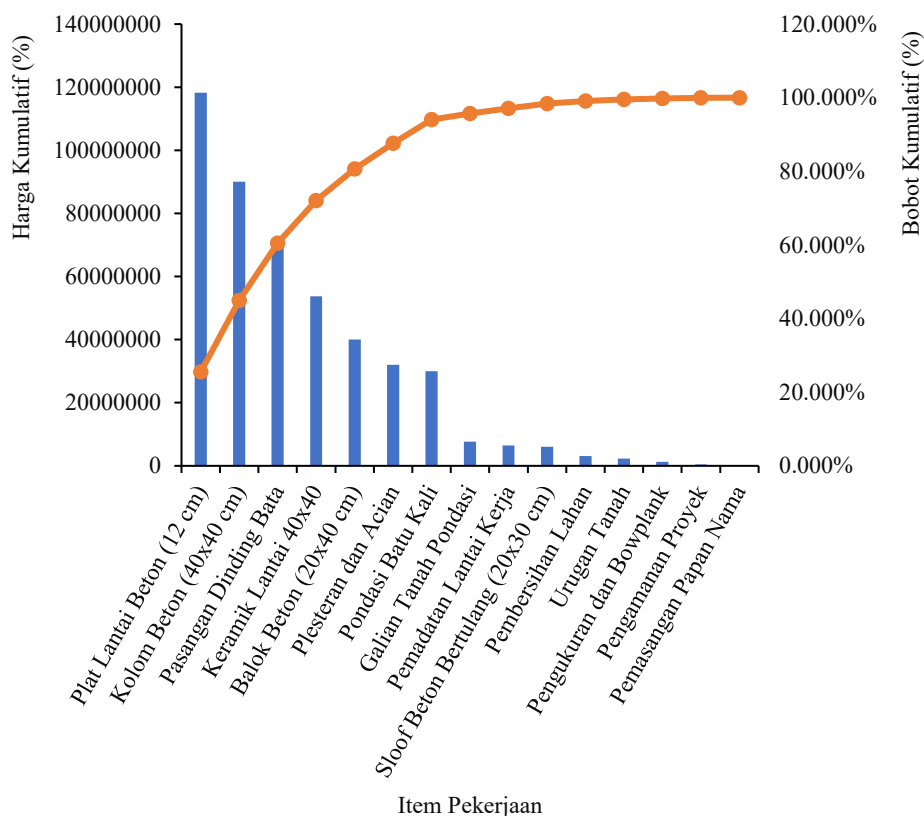
Gambar 3. Perubahan Volume Beton pada Tiap Elemen Struktur

Sumber: Data Olahan (2025)

Gambar 3. menggambarkan perbandingan volume beton rencana, terpakai, dan terpasang pada berbagai elemen struktural proyek. Data menunjukkan bahwa setiap elemen mengalami penyusutan volume material dengan waste berkisar antara 2,04% hingga 2,56%, di mana plat lantai memiliki tingkat waste tertinggi dan balok beton terendah. Secara keseluruhan, efisiensi penggunaan beton yang diukur melalui Waste Reduction Efficiency (WRE) mencapai 97,8%, menunjukkan pengendalian material yang optimal dan mendukung prinsip konstruksi berkelanjutan.

Pembahasan

Pareto Chart Waste Material Beton, seperti pada Grafik 2. menunjukkan distribusi pemborosan pada berbagai item pekerjaan konstruksi dan mengindikasikan bahwa penerapan Lean Construction secara efektif menekan jumlah limbah material beton. Pendekatan ini berfokus pada tiga pilar utama yang bekerja secara sinergis untuk meningkatkan efisiensi proses konstruksi, yaitu Value Stream Mapping (VSM), Just-In-Time (JIT), dan Continuous Improvement (Kaizen).



Gambar 4. Pareto Chart Waste Material Beton

Sumber: Data Olahan (2025)

Value Stream Mapping (VSM)

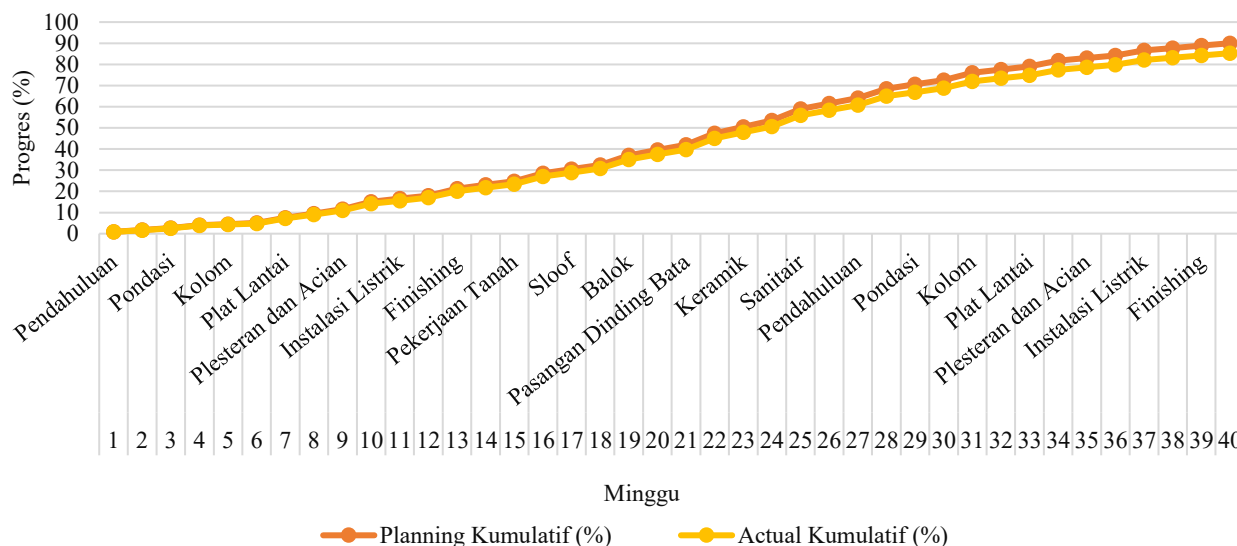
VSM berperan penting dalam mengidentifikasi dan menghilangkan aktivitas non-value-added sepanjang rantai pasok material beton. Melalui pemetaan aliran kerja, proyek dapat mendeteksi penyebab utama pemborosan seperti waktu tunggu material dan perpindahan beton yang tidak efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan VSM meningkatkan efisiensi proses dari 9–12% pada tahap awal menjadi 80% pada akhir proyek. Temuan ini konsisten dengan teori lean yang menyatakan bahwa visualisasi aliran kerja merupakan langkah mendasar untuk mengurangi aktivitas yang tidak memberikan nilai (Sudhakara et al., 2020).

Just-In-Time (JIT) Delivery

Penerapan JIT memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan penumpukan material dan mencegah beton mengeras sebelum digunakan. Efisiensi pengiriman material meningkat secara bertahap hingga mencapai 90–100% pada fase akhir proyek (Bamana et al., 2019). Hasil ini mendukung literatur yang menyatakan bahwa JIT mampu menurunkan biaya penyimpanan material hingga 30% serta mengurangi pemborosan dalam proyek konstruksi berskala besar (Xing et al., 2021). Penerapan JIT memerlukan koordinasi erat dengan pemasok dan pengaturan jadwal kerja yang presisi untuk memastikan keberhasilan.

Continuous Improvement (Kaizen)

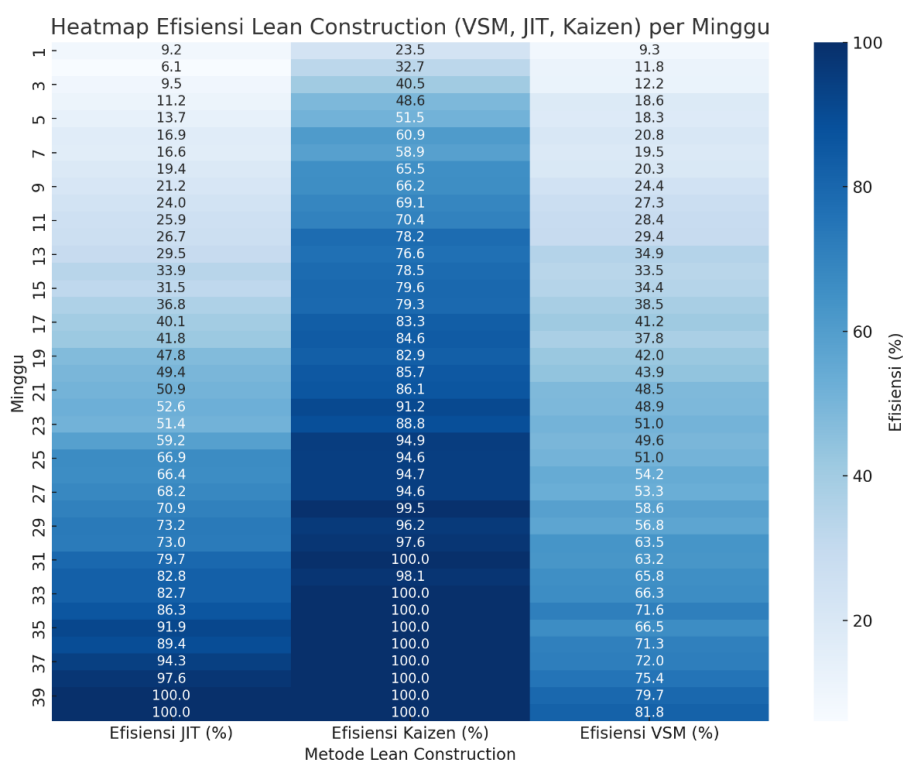
Kaizen menjadi elemen kunci dalam mencapai efisiensi maksimal melalui evaluasi dan perbaikan berkelanjutan di setiap tahap proyek. Data penelitian menunjukkan bahwa efisiensi meningkat dari 25% pada awal proyek menjadi 100% pada akhir pelaksanaan berkat langkah-langkah seperti kalibrasi rutin pada batching plant, pelatihan tenaga kerja untuk mengurangi kesalahan teknis, dan pemanfaatan sisa beton untuk elemen non-struktural. Pendekatan ini mendukung konsep Kaizen yang dikemukakan oleh (Babanagar et al., 2024), yang menekankan pentingnya budaya kerja adaptif dan berorientasi pada pengurangan pemborosan.



Gambar 5. Time Schedule Masjid X

Sumber: Data Olahan (2025)

Pada Gambar 5. Time Schedule Masjid X memperlihatkan deviasi antara progres rencana dan realisasi yang dapat dianalisis melalui pendekatan Lean Construction, khususnya dengan metode Value Stream Mapping (VSM), Just In Time (JIT), dan prinsip Continuous Improvement (Kaizen). VSM digunakan untuk memetakan aliran pekerjaan mulai dari pondasi hingga finishing, sehingga titik-titik pemborosan (waste) seperti keterlambatan pasokan material atau penumpukan pekerjaan pada fase struktural dapat teridentifikasi. Penerapan JIT berperan dalam mengurangi jeda waktu antara pengiriman material dan penggunaannya di lapangan, sehingga dapat meminimalkan penundaan yang terlihat pada pertengahan kurva aktual. Sementara itu, prinsip Kaizen mendorong perbaikan berkelanjutan melalui evaluasi rutin progres dan penyesuaian metode kerja, yang tercermin pada tren kurva aktual yang mampu mendekati rencana pada fase akhir. Dengan mengintegrasikan ketiga metode tersebut, proyek dapat meningkatkan efisiensi aliran kerja, mengurangi pemborosan waktu dan material, serta menjaga penyelesaian proyek tetap sesuai target meskipun terdapat deviasi sementara di lapangan.



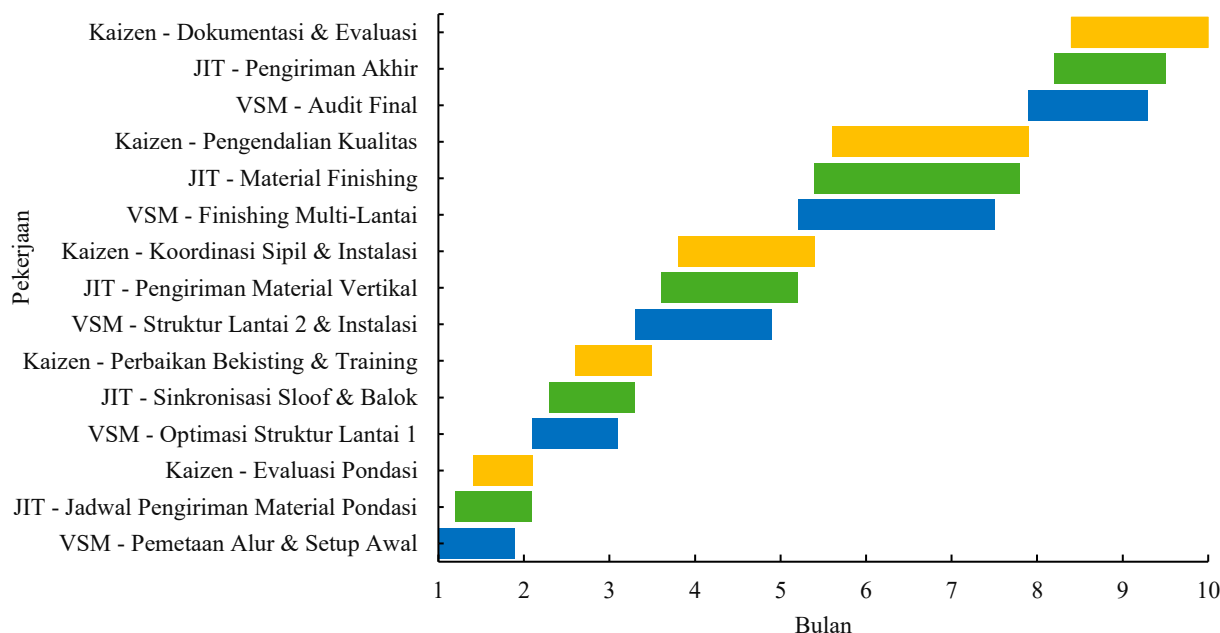
Grafik 1. Heatmap Efisiensi Lean Construction tiap Minggu

Sumber: Data Olahan (2025)

Penerapan metode Lean Construction berdampak pada penurunan deviasi antara progres perencanaan dan realisasi proyek seperti pada Grafik 1.

- Minggu 1–4 (Persiapan dan Pondasi): Efisiensi rendah (VSM 9–12%, JIT 6–9%, Kaizen 24–40%) karena adaptasi lapangan dan belum optimalnya pemetaan alur kerja.
- Minggu 5–20 (Struktur dan Instalasi): Efisiensi meningkat bertahap, deviasi progres menurun dari $\pm 10\%$ menjadi $\pm 5\%$ karena sinkronisasi pengiriman material dan evaluasi berkala.
- Minggu 21–40 (Finishing dan Evaluasi): Efisiensi mencapai puncaknya (VSM 70–80%, JIT 90–100%, Kaizen 100%), deviasi progres mendekati nol, dan pemborosan material hampir tidak ada.

Integrasi penerapan Lean Construction dengan metode VSM, JIT, dan Kaizen dalam penelitian ini memberikan dampak nyata terhadap peningkatan efisiensi proyek pembangunan Masjid X. Penggunaan metode ini berhasil menurunkan Deviasi antara perencanaan dan aktual berkurang drastis dari $\pm 10\%$ pada fase awal menjadi hampir 0% pada fase akhir. Selain itu, produktivitas tenaga kerja mengalami peningkatan dengan berkurangnya idle time lebih dari 30% berkat penjadwalan kerja yang lebih terstruktur dan terkoordinasi. Secara keseluruhan, pendekatan ini tidak hanya mengurangi pemborosan dan biaya proyek, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan melalui pemanfaatan sisa beton yang lebih optimal.



Grafik 5. *Gantt Chart Penerapan Efisiensi Lean Construction*

Sumber: Data Olahan (2025)

Jadwal penerapan efisiensi Lean Construction dalam proyek ini mencakup tiga metode utama sesuai dengan Grafik 5. Value Stream Mapping (VSM), Just-In-Time (JIT), dan Continuous Improvement (Kaizen)—selama periode Januari hingga Oktober. Pada Januari–Februari, kegiatan difokuskan pada pemetaan alur kerja awal (VSM), penjadwalan pengiriman material pondasi (JIT), dan evaluasi pondasi (Kaizen). Maret–Mei dilakukan sinkronisasi sloof dan balok, perbaikan bekisting, pengiriman material vertikal, serta optimasi struktur lantai. Juni–Juli berfokus pada pekerjaan finishing multi-lantai dan pengendalian kualitas, sementara Agustus–Oktober ditutup dengan audit final, pengiriman material akhir, dan evaluasi menyeluruh. Model penerapan VSM–JIT–Kaizen ini terbukti mampu mengurangi pemborosan material dan meningkatkan efisiensi proyek, menjadi acuan praktis dalam manajemen material dan produktivitas tenaga kerja.

Penelitian pada pembangunan Masjid X di Desa Banjarejo mendukung literatur yang menyatakan efektivitas Lean Construction dalam mengurangi waste dan meningkatkan efisiensi konstruksi. Prinsip-prinsip Lean VSM, JIT, dan Kaizen mampu mengidentifikasi aktivitas non-value-added, menurunkan biaya penyimpanan, serta mendorong perbaikan berkelanjutan. Secara empiris, limbah beton dapat ditekan hingga 2,25%, lebih rendah dibandingkan hasil studi sebelumnya yang mencapai 5–15% (Laika et al., 2022; Sánchez-Rivera et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan konvensional seperti optimasi RAB dan pengawasan material belum efektif mengatasi pemborosan karena tidak menyelesaikan masalah aliran kerja yang tidak efisien.

Penerapan VSM dalam penelitian ini sejalan dengan konsep (Terzioglu et al., 2022) yang menunjukkan peningkatan efisiensi dari 9–12% menjadi 80% pada akhir proyek. Hasil JIT konsisten dengan temuan (Xing et al., 2021) di mana pengiriman tepat waktu menurunkan biaya penyimpanan hingga 30% dan mengurangi risiko pengerasan material, dengan efisiensi mencapai 90–100% di akhir proyek. Kaizen meningkatkan efisiensi dari 25% menjadi 100% melalui perbaikan proses batching, pelatihan tenaga kerja, dan pemanfaatan beton sisa. Temuan ini mendukung konsep Kaizen menurut (Babanagar et al., 2024), yang menekankan pentingnya budaya kerja adaptif dan evaluasi berkelanjutan untuk mencapai zero waste. Penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dan praktis melalui model integrasi VSM–JIT–Kaizen yang efektif meningkatkan efisiensi material dan mendukung keberlanjutan proyek konstruksi di Indonesia.

SIMPULAN

Penerapan Lean Construction melalui Value Stream Mapping (VSM), Just-In-Time (JIT), dan Continuous Improvement (Kaizen) pada proyek pembangunan Masjid X di Desa Banjarejo terbukti efektif menekan limbah beton hingga 2,25% dengan Waste Reduction Efficiency (WRE) mencapai 97,8%. VSM berhasil mengidentifikasi dan mengurangi pemborosan aliran kerja, JIT memastikan pengiriman material tepat waktu, sementara Kaizen meningkatkan efisiensi proses hingga 100% melalui perbaikan berkelanjutan. Hasil ini memperkuat teori bahwa Lean Construction mampu meningkatkan efisiensi material dan produktivitas tenaga kerja. Penelitian ini memberikan model integrasi VSM–JIT–Kaizen yang praktis untuk proyek konstruksi di Indonesia, mengurangi deviasi progres, meminimalkan idle time pekerja, serta mendukung keberlanjutan proyek melalui pemanfaatan material yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arain, F. M., Low, S. P., & Wu, M. (2015). JUST-IN-TIME (JIT) MANAGEMENT IN THE READY MIXED CONCRETE INDUSTRY IN SINGAPORE. *International Journal of Construction Project Management*, 7(2).
- Babanagar, N., Sridharan Srinivasan, N., & Rakshith, N. (2024). Case Study on Production System Design with Discrete Event Simulation for Bangalore Metro Underground Project. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 383. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5455-1_19
- Bajjou, M. S., & Chafi, A. (2021). Lean construction and simulation for performance improvement: a case study of reinforcement process. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(2). <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2019-0309>
- Bamana, F., Lehoux, N., & Cloutier, C. (2019). Simulation of a Construction Project: Assessing Impact of Just-in-Time and Lean Principles. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001654](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001654)
- Bimansyah, W., Yamali, F. R., Dony, W., & Setiawan, A. (2025). Jurnal Talenta Sipil. *Talenta Sipil*, 8(2), 907–913. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i2.789>
- de Oliveira Rezende, M., Saade, M. R. M., Nunes, A. O., da Silva, V. G., Moris, V. A. S., & Silva, D. A. L. (2022). A Lean and Green approach for the eco-efficiency assessment on construction sites: description and case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(5). <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02265-y>
- Garcés, G., & Peña, C. (2023). A Review on Lean Construction for Construction Project Management. *Revista Ingenieria de Construcción*, 38(1). <https://doi.org/10.7764/RIC.00051.21>
- Hapsari, D. D., Sudarto, S., & Baskoro, G. (2021). Improving Concrete Waste Rate Generation of Structure Projects in Leading Construction Firm in Indonesia. *Proceedings of The Conference on Management and Engineering in Industry*, 3(4). <https://doi.org/10.33555/cmei.v3i4.89>
- Laika, M., Heravi, G., Rostami, M., & Ahmadi, S. (2022). Improving the Performance of Precast Concrete Production Processes by Simultaneous Implementation of Lean Techniques and Root Cause Analysis. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 46(3). <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00839-4>
- Medina, J. C., López, N. A. S., Terrón, M. E. P., & Córdoba, J. V. M. V. (2024). Kaizen: Improving Productivity and Reducing Waste in a Manufacturing Company: a Practical Case Study. *International Journal of Professional Business Review*, 9(1). <https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i1.4241>
- Pasławski, J., & Rudnicki, T. (2021). Agile/flexible and lean management in ready-mix concrete delivery. *Archives of Civil Engineering*, 67(1). <https://doi.org/10.24425/ace.2021.136497>
- Phan, T. D., & Athigakunagorn, N. (2022). Discrete-event simulation-based decision making of Just-In-Time strategies for precast concrete supply chain using batch delivery and offsite inventory level. *Uncertain Supply Chain Management*, 10(3). <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.5.007>
- Prastowo, T. Y. (2023). Sustainable Transformation In the Construction Industry: Reducing Environmental Impact and Enhancing Cost Performance through Waste Utilization and Lean Construction. *Civilla : Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan*, 8(2). <https://doi.org/10.30736/cvl.v8i2.1107>

- Sánchez-Rivera, O. G., Galvis-Guerra, J. A., Porrás-Díaz, H., Ardila-Chacón, Y. D., & Martínez-Martínez, C. A. (2017). BIM 5D models and Lean Construction for planning work activities in reinforced concrete bridges. *Revista Facultad de Ingeniería*, 26(46). <https://doi.org/10.19053/01211129.v26.n46.2017.7314>
- Sudhakara, P. R., Salek, R., Venkat, D., & Chruzik, K. (2020). Management of non-value-added activities to minimize lead time using value stream mapping in the steel industry. *Acta Montanistica Slovaca*, 25(3). <https://doi.org/10.46544/AMS.v25i3.15>
- Susanto, S. (2024). Global Green Building Adoption: An In-Depth Analysis of Trends Worldwide. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 15(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jp.al.2024.015.02.08>
- Terzioglu, T., Polat, G., & Turkoglu, H. (2022). Analysis of Industrial Formwork Systems Supply Chain Using Value Stream Mapping. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 12(1). <https://doi.org/10.32738/JEPPM-2022-0005>
- Xing, W., Hao, J. L., Qian, L., Tam, V. W. Y., & Sikora, K. S. (2021). Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124944>
- Zahraee, S. M., Esrafilian, R., Kardan, R., Shiwakoti, N., & Stasinopoulos, P. (2020). Lean construction analysis of concrete pouring process using value stream mapping and Arena based simulation model. *Materials Today: Proceedings*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.955>