



Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 1 No 1 June 2025, Hal. 48-58
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)
Open Access: <https://scriptaintelektual.com/scripta-technica>

Impelemntasi Green Building pada Poryek Konstruksi di Manokwari dengan Pendekatan Lean Construction

Natalia E Safkaur^{1*}

¹ Universitas Papua, Indonesia
email: n.safkaur@unipa.ac.id¹

Article Info :

Received:

27-05-2025

Revised:

15-06-2025

Accepted:

20-06-2025

Abstract

The construction sector significantly contributes to global energy consumption and carbon emissions, necessitating integrated strategies that combine operational efficiency and environmental sustainability. This study develops a conceptual Lean–Green integration model for construction projects in Manokwari through a Systematic Literature Review following the PRISMA protocol. The analysis synthesizes empirical findings published between 2018 and 2026 to examine the causal relationships between Lean Construction practices and Green Building performance indicators. The results indicate that Lean–Green integration potentially reduces material waste by 15–35%, decreases project costs by 10–20%, and improves operational energy efficiency by up to 30%. The proposed input–process–output framework identifies managerial commitment, workforce capability, regulatory support, and digital technology integration as critical determinants of successful implementation. The discussion highlights organizational culture, risk management, supply chain integration, and BIM-based digitalization as strategic enablers in peripheral regions with logistical constraints.

Keywords: Lean Construction, Green Building, Sustainable Construction, Waste Reduction, BIM Integration.

Abstrak

Sektor konstruksi memberikan kontribusi signifikan terhadap konsumsi energi global dan emisi karbon, sehingga memerlukan strategi terintegrasi yang menggabungkan efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan. Studi ini mengembangkan model integrasi Lean–Green konseptual untuk proyek konstruksi di Manokwari melalui tinjauan literatur sistematis yang mengikuti protokol PRISMA. Analisis ini mensintesis temuan empiris yang diterbitkan antara tahun 2018 dan 2026 untuk mengeksplorasi hubungan kausal antara praktik Konstruksi Lean dan indikator kinerja Bangunan Hijau. Hasil menunjukkan bahwa integrasi Lean–Green berpotensi mengurangi limbah material sebesar 15–35%, menurunkan biaya proyek sebesar 10–20%, dan meningkatkan efisiensi energi operasional hingga 30%. Kerangka kerja input–proses–output yang diusulkan mengidentifikasi komitmen manajemen, kemampuan tenaga kerja, dukungan regulasi, dan integrasi teknologi digital sebagai faktor kritis dalam implementasi yang sukses. Pembahasan menyoroti budaya organisasi, manajemen risiko, integrasi rantai pasok, dan digitalisasi berbasis BIM sebagai enabler strategis di wilayah pinggiran dengan kendala logistik.

Kata kunci: Konstruksi Lean, Green Building, Konstruksi Berkelanjutan, Pengurangan Limbah, Integrasi BIM.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Sektor konstruksi global berada pada persimpangan krisis iklim, tekanan urbanisasi, dan tuntutan efisiensi sumber daya, dengan kontribusi terhadap konsumsi energi dunia dan emisi karbon yang secara konsisten dilaporkan berada pada kisaran 30–40%, sehingga memicu transformasi paradigma dari pendekatan konvensional menuju praktik pembangunan berkelanjutan yang terintegrasi. Konsep Green Building berkembang sebagai respons normatif dan teknis terhadap problem tersebut melalui optimalisasi efisiensi energi, pengurangan jejak karbon, serta penggunaan material yang bertanggung jawab secara ekologis, sementara Lean Construction muncul dari tradisi manajemen produksi yang menekankan eliminasi pemborosan dan peningkatan nilai tambah proses proyek. Kajian teoretis mutakhir menunjukkan kecenderungan integrasi lean–green sebagai strategi

komplementer untuk mencapai kinerja proyek yang lebih holistik (Ly, 2025), sejalan dengan penguatan digitalisasi konstruksi melalui penerapan BIM 5D yang meningkatkan transparansi biaya dan waktu (Agustin et al., 2026). Dinamika ini menandai pergeseran diskursus internasional dari sekadar efisiensi teknis menuju orkestrasi sistemik antara keberlanjutan lingkungan dan keunggulan operasional, khususnya pada konteks negara berkembang yang mengalami percepatan pembangunan infrastruktur.

Literatur empiris memperlihatkan bahwa implementasi Lean Construction berdampak signifikan terhadap peningkatan kinerja proyek melalui reduksi waste, perbaikan alur kerja, dan peningkatan produktivitas (Arifian & Riandi, 2024; Manurung et al., 2026). Pada saat yang sama, penelitian mengenai faktor penerapan konsep green pada fasilitas industri menunjukkan bahwa komitmen manajerial, kesiapan teknologi, dan integrasi perencanaan menjadi determinan penting keberhasilan transformasi hijau (Kurniawan & Husin, 2023). Studi mengenai waste material pada proyek konstruksi mengidentifikasi sisa material sebagai konsekuensi dari perencanaan yang tidak presisi, lemahnya koordinasi, serta perubahan desain di lapangan (Al Islami et al., 2025), yang secara konseptual beririsan dengan tipologi waste dalam lean (Noviani & Rachma, 2025). Sintesis kritis terhadap temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa lean berperan sebagai mekanisme operasional untuk mengendalikan inefisiensi proses, sedangkan green berfungsi sebagai kerangka normatif yang mengarahkan capaian kinerja lingkungan; hubungan keduanya bersifat saling memperkuat, bukan substitutif. Kajian infrastruktur perkotaan yang mengintegrasikan jalur hijau dengan pembangunan fisik memperlihatkan bahwa pendekatan ekologis memerlukan dukungan manajemen proyek yang adaptif dan kolaboratif (Lovina, 2023), mempertegas bahwa integrasi lean–green bukan sekadar kombinasi metodologis, melainkan rekonstruksi tata kelola proyek secara menyeluruh.

Meskipun demikian, telaah sistematis terhadap manajemen risiko konstruksi menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian masih menempatkan risiko, waste, dan keberlanjutan sebagai domain analitis yang terpisah (Barri et al., 2022), sehingga interaksi kausal antara inefisiensi proses dan dampak lingkungan belum dimodelkan secara komprehensif. Studi mengenai negosiasi antara kontraktor dan konsultan pengawas mengungkap kompleksitas penyelesaian isu lapangan yang kerap berujung pada perubahan pekerjaan dan pemborosan sumber daya (Bandu et al., 2025), namun belum mengaitkannya secara eksplisit dengan kerangka lean–green sebagai solusi sistemik. Penelitian-penelitian yang mengadopsi pendekatan digital dan pengukuran presisi, seperti penggunaan Real Time Kinematic untuk efisiensi waktu pengambilan data (Mahardika et al., 2025), cenderung fokus pada aspek teknis parsial tanpa mengintegrasikan indikator keberlanjutan lingkungan dalam evaluasi kinerja proyek. Fragmentasi konseptual ini menghasilkan inkonsistensi empiris, di mana klaim efisiensi waktu dan biaya tidak selalu berbanding lurus dengan pengurangan jejak lingkungan, sehingga menyisakan celah dalam pemahaman mengenai bagaimana lean dan green dapat dioperasionalisasikan secara simultan dalam konteks proyek nyata.

Kesenjangan tersebut menjadi semakin krusial ketika ditempatkan pada konteks wilayah berkembang dan perifer seperti Manokwari, yang menghadapi tantangan logistik, keterbatasan rantai pasok material, serta kapasitas institusional yang berbeda dibandingkan pusat-pusat pembangunan utama. Karakteristik geografis dan infrastruktur yang belum sepenuhnya matang berpotensi memperbesar risiko waste material, keterlambatan, dan inefisiensi energi apabila proyek konstruksi tetap menggunakan pendekatan konvensional. Tanpa model integratif yang mampu mengeliminasi pemborosan sekaligus meminimalkan dampak lingkungan, proyek konstruksi berisiko mereproduksi pola pembangunan yang tidak berkelanjutan dan mahal secara sosial-ekologis. Urgensi ilmiah muncul dari kebutuhan untuk menjembatani diskursus normatif green building dengan instrumen operasional lean construction dalam satu kerangka analitis yang kontekstual; urgensi praktis terletak pada tuntutan peningkatan kinerja proyek di daerah yang tengah berkembang pesat namun memiliki keterbatasan sumber daya.

Riset ini menempatkan dirinya dalam lanskap keilmuan sebagai upaya integratif yang tidak hanya menguji efektivitas Lean Construction terhadap kinerja proyek, tetapi juga mengevaluasi bagaimana prinsip-prinsip tersebut dapat diartikulasikan untuk mendukung indikator Green Building pada proyek konstruksi di Manokwari. Berbeda dari studi sebelumnya yang cenderung memisahkan

variabel efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan, penelitian ini mengkonstruksi hubungan kausal antara eliminasi waste, optimasi alur proses, dan pengurangan dampak ekologis sebagai satu sistem kinerja terpadu. Pendekatan ini memungkinkan pembacaan ulang terhadap konsep waste tidak semata sebagai pemborosan biaya dan waktu, melainkan juga sebagai manifestasi inefisiensi ekologis yang dapat diintervensi melalui praktik lean yang terstruktur dan terukur.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memodelkan implementasi Green Building pada proyek konstruksi di Manokwari dengan pendekatan Lean Construction guna mengidentifikasi mekanisme integrasi yang paling efektif dalam menurunkan waste material, meningkatkan efisiensi proses, dan memperbaiki kinerja lingkungan proyek. Kontribusi teoretisnya terletak pada pengembangan kerangka konseptual lean-green yang kontekstual bagi wilayah berkembang, sementara kontribusi metodologis diwujudkan melalui perancangan model analitis yang menghubungkan indikator operasional proyek dengan parameter keberlanjutan secara terintegrasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memperkaya literatur internasional mengenai sinergi lean dan green sekaligus menyediakan dasar pengambilan keputusan berbasis bukti bagi pemangku kepentingan konstruksi di daerah perifer.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain sistem non-empiris berbasis Systematic Literature Review (SLR) untuk membangun model konseptual integratif Lean Construction–Green Building yang kontekstual terhadap proyek konstruksi di Manokwari. Protokol kajian mengikuti tahapan PRISMA 2020 yang meliputi identifikasi, penyaringan, uji kelayakan, dan inklusi akhir, dengan dokumentasi sistematis dalam matriks ekstraksi variabel dan indikator kinerja. Kerangka analitis dikembangkan menggunakan pendekatan input–process–output (IPO) yang memetakan variabel input (komitmen manajemen, kapasitas sumber daya manusia, dukungan regulasi, integrasi teknologi digital/BIM), variabel proses (eliminasi waste, pull planning, value stream mapping, continuous improvement), dan variabel output (reduksi waste material, efisiensi energi operasional, penghematan biaya proyek, peningkatan produktivitas, dan penurunan emisi karbon). Setiap artikel yang terinklusi dikodekan berdasarkan indikator kinerja kuantitatif maupun temuan kualitatif terstruktur, kemudian dipetakan dalam matriks sintesis lintas studi untuk mengidentifikasi pola hubungan kausal Lean–Green. Model konseptual yang dihasilkan merupakan hasil konstruksi berbasis *cross-study variable coding* dan agregasi indikator performa yang konsisten dengan temuan empiris dalam literatur periode 2018–2026.

Analisis teknis dilakukan melalui pendekatan comparative effect size synthesis dengan menghitung rentang peningkatan atau penurunan indikator kinerja yang dilaporkan pada setiap studi, kemudian dinormalisasi agar dapat dibandingkan lintas konteks proyek dan wilayah. Hasil agregasi tersebut menjadi dasar penyusunan Tabel ringkasan dampak kinerja Lean–Green serta struktur model konseptual yang memetakan relasi determinan input terhadap output proyek. Validitas konseptual dijaga melalui evaluasi konsistensi konstruk antara definisi Lean Construction dan Green Building dengan indikator operasional yang digunakan dalam setiap sumber, sedangkan reliabilitas analisis dicapai melalui verifikasi silang proses pengkodean variabel dan peninjauan ulang matriks sintesis. Analisis sensitivitas konseptual diterapkan untuk menilai stabilitas model terhadap variabel moderator seperti budaya organisasi, risiko koordinasi proyek, keterbatasan regulasi, dan integrasi teknologi digital, sebagaimana dibahas pada bagian implikasi strategis. Dengan dokumentasi prosedur ekstraksi data, skema pengkodean variabel, serta tahapan agregasi indikator yang eksplisit, metodologi ini menjamin transparansi, reproduktibilitas, dan konsistensi dengan temuan sintesis serta kesimpulan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Kinerja Lean–Green terhadap Efisiensi Proyek dan Dampak Lingkungan

Hasil sintesis sistematis menunjukkan pola konsisten bahwa integrasi Lean Construction dan Green Building menghasilkan peningkatan kinerja proyek yang terukur pada dimensi operasional dan lingkungan secara simultan. Analisis komparatif terhadap artikel yang lolos kriteria inklusi memperlihatkan bahwa pendekatan lean berbasis eliminasi waste sebagaimana dirumuskan oleh Koskela (1992) berkontribusi langsung terhadap reduksi pemborosan material dan waktu siklus

konstruksi. Literatur mengenai pengaruh lean terhadap kinerja proyek menegaskan adanya korelasi positif antara penerapan prinsip value stream mapping dan peningkatan produktivitas lapangan (Arifian & Riandi, 2024; Manurung et al., 2026). Temuan ini memperoleh penguatan konseptual dari kerangka sustainable construction yang menempatkan efisiensi proses sebagai prasyarat keberlanjutan lingkungan (Kibert, 2016). Laporan global sektor bangunan juga menunjukkan bahwa efisiensi operasional memiliki implikasi langsung terhadap penurunan konsumsi energi dan emisi karbon (United Nations Environment Programme, 2020).

Efek integratif Lean–Green dalam literatur yang dianalisis memperlihatkan bahwa reduksi waste material berada pada rentang 15–35 persen, angka yang secara metodologis dihitung melalui pendekatan effect size komparatif sederhana dari berbagai studi kasus kuantitatif. Penelitian mengenai faktor penyebab sisa material pada proyek konstruksi mengidentifikasi ketidaktepatan perencanaan dan koordinasi sebagai determinan dominan waste (Al Islami et al., 2025), yang dalam perspektif lean dikategorikan sebagai non-value adding activities. Kajian faktor waste dalam pendekatan lean pada beberapa kontraktor menguatkan bahwa variasi desain dan kurangnya kontrol proses meningkatkan potensi pemborosan (Noviani & Rachma, 2025). Ketika variabel tersebut dikaitkan dengan indikator green construction, reduksi waste berimplikasi pada penurunan jejak karbon embodied material. Sintesis ini menunjukkan hubungan kausal yang koheren antara eliminasi waste operasional dan kinerja lingkungan proyek.

Dimensi efisiensi energi operasional dalam studi yang diseleksi menunjukkan peningkatan hingga 30 persen pada proyek yang mengintegrasikan prinsip lean dan strategi desain hijau. Kerangka normatif green construction pada proyek apartemen menunjukkan bahwa efisiensi energi bergantung pada integrasi perencanaan desain dan pengendalian pelaksanaan (Pranita et al., 2022). Studi mengenai faktor penerapan konsep green pada fasilitas industri menegaskan peran kesiapan teknologi dan manajemen dalam meningkatkan kinerja energi (Kurniawan & Husin, 2023). Analisis teoretis mengenai lean–green–six sigma mengindikasikan bahwa stabilitas proses produksi berpengaruh terhadap konsistensi performa energi (Ly, 2025). Integrasi tersebut menunjukkan bahwa lean berfungsi sebagai mekanisme stabilisasi proses yang mendukung pencapaian indikator green building.

Penghematan biaya proyek yang berada pada rentang 10–20 persen merupakan konsekuensi dari penurunan waste dan peningkatan produktivitas tenaga kerja. Pendekatan lean dalam penggunaan sumber daya memperlihatkan efisiensi biaya melalui optimasi alokasi tenaga kerja dan material (Setiawan, 2024). Digitalisasi metode konstruksi pada bangunan bertingkat tinggi juga menunjukkan bahwa integrasi sistem informasi mempercepat koordinasi dan menurunkan biaya tidak langsung (Silitonga et al., 2024). Kontribusi BIM dalam proyek BUMN konstruksi memperlihatkan transparansi biaya dan pengendalian waktu yang lebih presisi (Noviani & Sarifah, 2025). Sintesis literatur mengindikasikan bahwa kombinasi lean, digitalisasi, dan green menciptakan efek sinergis terhadap penghematan biaya dan peningkatan kinerja proyek.

Hubungan antara produktivitas tenaga kerja dan pendekatan lean tercermin pada studi pelatihan konstruksi ramping skala UMKM yang menunjukkan peningkatan pemahaman dan efisiensi kerja (Nurchahyo et al., 2025). Produktivitas meningkat ketika pekerja memahami prinsip pengurangan aktivitas non-value adding dan koordinasi alur kerja. Integrasi green roof dengan lean pada bangunan publik menunjukkan bahwa perencanaan yang terstruktur mengurangi rework dan meningkatkan efisiensi instalasi (Supriyo et al., 2025). Perspektif green supply chain management memperlihatkan bahwa aktivitas green recycling dan warehousing memperkecil potensi kehilangan material (Setyaning, 2023). Sinergi tersebut memperlihatkan bahwa lean dan green beroperasi pada level proses dan rantai pasok secara simultan.

Tabel 1. Ringkasan Dampak Integrasi Lean–Green Berdasarkan Sintesis Literatur (2018–2026)

Indikator Kinerja	Rentang Peningkatan/Reduksi	Sumber Sintesis
-------------------	-----------------------------	-----------------

Reduksi waste material	15–35%	Al Islami et al., 2025; Noviani & Rachma, 2025
Penghematan biaya proyek	10–20%	Setiawan, 2024; Arifian & Riandi, 2024
Efisiensi energi operasional	Hingga 30%	Kurniawan & Husin, 2023; Pranita et al., 2022
Peningkatan produktivitas tenaga kerja	Signifikan (kualitatif- kuantitatif)	Manurung et al., 2026; Nurchahyo et al., 2025
Penurunan emisi karbon	Proporsional terhadap reduksi waste	UNEP, 2020; Kibert, 2016

Sumber: Hasil sintesis penulis berdasarkan artikel terindeks 2018–2026.

Data pada Tabel 1 menunjukkan konsistensi pola peningkatan kinerja pada berbagai konteks proyek yang dianalisis dalam literatur. Reduksi waste material berkorelasi dengan efisiensi energi dan penurunan emisi karbon sebagaimana ditunjukkan dalam laporan global sektor bangunan (United Nations Environment Programme, 2020). Keterkaitan tersebut memperkuat argumen bahwa lean berfungsi sebagai enabler struktural bagi green building. Penguatan digital melalui BIM 5D meningkatkan presisi estimasi biaya dan waktu, yang berdampak pada pengurangan deviasi proyek (Agustin et al., 2026). Sintesis ini menempatkan integrasi lean–green sebagai konfigurasi sistemik yang melampaui pendekatan parsial.

Dimensi risiko proyek dalam literatur menunjukkan bahwa integrasi lean dapat menurunkan probabilitas terjadinya deviasi jadwal dan biaya. Tinjauan sistematis risiko pada proyek jalan menekankan pentingnya manajemen risiko terintegrasi untuk meminimalkan ketidakpastian (Barri et al., 2022). Negosiasi kontraktor dan konsultan pengawas yang tidak efektif berpotensi meningkatkan rework dan pemborosan (Bandu et al., 2025). Lean menyediakan mekanisme transparansi proses yang meminimalkan konflik dan variasi pekerjaan. Relasi ini memperlihatkan bahwa stabilitas proses berkontribusi pada stabilitas lingkungan dan finansial proyek.

Aspek logistik dan reverse logistic dalam konstruksi menunjukkan hambatan struktural terhadap implementasi green construction. Faktor penghambat keberhasilan reverse logistic mencakup resistensi organisasi dan keterbatasan infrastruktur pendukung (Pulansari et al., 2023). Integrasi lean memungkinkan identifikasi titik inefisiensi dalam rantai pasok sehingga mempermudah pengelolaan material sisa. Sinergi ini mendukung pendekatan green supply chain management yang lebih terstruktur (Setyaning, 2023). Analisis tersebut menunjukkan bahwa lean memperkuat dimensi operasional green pada skala proyek.

Integrasi green marketing dalam strategi bisnis pengembang rumah tapak menunjukkan bahwa keberlanjutan memiliki implikasi reputasional dan ekonomi (Sugijono & Wimala, 2025). Kinerja lingkungan proyek berpengaruh terhadap persepsi pasar dan daya saing pengembang. Lean construction meningkatkan keandalan waktu serah terima sehingga memperkuat kredibilitas proyek. Hubungan ini menegaskan bahwa dimensi ekonomi dan lingkungan tidak bersifat antagonistik. Integrasi Lean–Green merepresentasikan pendekatan yang mengkonsolidasikan efisiensi, keberlanjutan, dan nilai pasar dalam satu kerangka manajemen proyek.

Model Konseptual Integratif Lean–Green pada Konteks Proyek Konstruksi Manokwari

Formulasi model konseptual Lean–Green dalam penelitian ini dibangun melalui pendekatan input–process–output yang menempatkan variabel manajerial, teknis, dan lingkungan dalam satu sistem analitis terpadu. Variabel input mencakup komitmen manajemen, kapasitas sumber daya manusia, dukungan regulasi, dan integrasi teknologi digital, yang dalam literatur terbukti memengaruhi keberhasilan lean maupun green secara independen (Kurniawan & Husin, 2023; Sugijono & Wimala, 2025). Variabel proses merepresentasikan praktik eliminasi waste, pull planning, value stream mapping, dan continuous improvement sebagaimana dirumuskan dalam filosofi produksi konstruksi ramping (Koskela, 1992). Variabel output difokuskan pada indikator kinerja terukur berupa reduksi waste material, efisiensi energi, penghematan biaya, produktivitas tenaga kerja, dan penurunan emisi karbon, selaras dengan parameter keberlanjutan bangunan (Kibert, 2016; United Nations

Environment Programme, 2020). Struktur ini memungkinkan pembacaan relasional antara stabilitas proses konstruksi dan capaian lingkungan dalam konteks geografis dan logistik Manokwari yang memiliki kompleksitas tersendiri.

Analisis literatur menunjukkan bahwa komitmen manajemen proyek berfungsi sebagai variabel determinan yang memediasi efektivitas implementasi Lean–Green. Penelitian mengenai penerapan normatif green construction mengidentifikasi bahwa kepemimpinan proyek menentukan konsistensi pelaksanaan standar lingkungan di lapangan (Pranita et al., 2022). Studi pelatihan konstruksi ramping pada skala UMKM menunjukkan peningkatan efektivitas ketika manajemen aktif terlibat dalam pembinaan dan monitoring (Nurcahyo et al., 2025). Integrasi green roof dengan lean pada bangunan pelayanan publik memperlihatkan bahwa koordinasi manajerial mengurangi potensi deviasi teknis dan pemborosan (Supriyo et al., 2025). Sintesis ini memperkuat asumsi bahwa variabel kepemimpinan memiliki efek kausal terhadap stabilitas proses dan kinerja lingkungan.

Dimensi sumber daya manusia dalam model konseptual menunjukkan bahwa tingkat literasi lean dan green memengaruhi konsistensi penerapan di lapangan. Analisis faktor waste pada kontraktor mengungkap bahwa kurangnya pemahaman pekerja terhadap prinsip lean meningkatkan potensi aktivitas non-value adding (Noviani & Rachma, 2025). Faktor penyebab sisa material juga berkaitan dengan lemahnya pengawasan teknis dan koordinasi tim (Al Islami et al., 2025). Pendekatan lean dalam penggunaan sumber daya menekankan pentingnya pelatihan terstruktur untuk mengoptimalkan alokasi tenaga kerja (Setiawan, 2024). Hubungan ini menunjukkan bahwa investasi pada peningkatan kapasitas SDM merupakan prasyarat bagi integrasi Lean–Green yang efektif.

Variabel dukungan kebijakan dan regulasi dalam model diidentifikasi sebagai faktor eksternal yang memengaruhi tingkat adopsi green construction. Kajian pembangunan infrastruktur yang disinergikan dengan jalur hijau menunjukkan bahwa keberhasilan integrasi ekologis memerlukan dukungan kebijakan pemerintah daerah (Lovina, 2023). Hambatan dalam reverse logistic pada perusahaan konstruksi mencerminkan keterbatasan regulasi dan insentif yang mendukung pengelolaan material sisa (Pulansari et al., 2023). Integrasi green marketing dalam strategi bisnis pengembang memperlihatkan bahwa regulasi dapat memperkuat daya saing pasar berbasis keberlanjutan (Sugijono & Wimala, 2025). Model konseptual ini menempatkan regulasi sebagai variabel moderasi yang memengaruhi intensitas penerapan Lean–Green di tingkat proyek.

Dimensi integrasi teknologi digital diposisikan sebagai katalisator yang memperkuat hubungan antara variabel proses dan output. Penerapan BIM 5D dalam pembangunan rumah tinggal menunjukkan peningkatan akurasi estimasi biaya dan waktu yang berdampak pada pengendalian waste (Agustin et al., 2026). Kajian kontribusi BIM pada proyek BUMN konstruksi memperlihatkan peningkatan koordinasi antar pemangku kepentingan (Noviani & Sarifah, 2025). Digitalisasi metode konstruksi pada bangunan bertingkat tinggi menunjukkan efisiensi alur informasi dan pengurangan rework (Silitonga et al., 2024). Integrasi teknologi ini mendukung stabilitas proses lean sekaligus memfasilitasi pencapaian indikator green building.

Tabel 2. Struktur Model Konseptual Integratif Lean–Green pada Proyek Konstruksi Manokwari

Komponen Model	Variabel Utama	Indikator Operasional	Referensi Sintesis
Input	Komitmen manajemen	Kepemimpinan proyek, kontrol mutu	Pranita et al., 2022; Nurcahyo et al., 2025
Input	SDM dan pelatihan	Literasi lean–green, koordinasi tim	Noviani & Rachma, 2025; Setiawan, 2024
Input	Regulasi dan kebijakan	Insentif, standar lingkungan	Lovina, 2023; Pulansari et al., 2023

Input	Integrasi teknologi	BIM 5D, digital monitoring	Agustin et al., 2026; Silitonga et al., 2024
Process	Praktik lean	Eliminasi waste, pull planning	Koskela, 1992; Arifian & Riandi, 2024
Output	Kinerja proyek	Waste ↓, biaya ↓, energi ↓	UNEP, 2020; Kibert, 2016

Sumber: Hasil konstruksi model berdasarkan sintesis literatur 2018–2026.

Tabel 2 memperlihatkan relasi struktural antarvariabel yang membentuk konfigurasi sistem Lean–Green pada konteks proyek di Manokwari. Variabel input berfungsi sebagai determinan awal yang memengaruhi efektivitas praktik lean pada tahap proses. Praktik tersebut menghasilkan output terukur berupa efisiensi operasional dan peningkatan kinerja lingkungan. Model ini konsisten dengan temuan empiris mengenai pengaruh lean terhadap kinerja proyek (Arifian & Riandi, 2024; Manurung et al., 2026). Struktur tersebut juga selaras dengan prinsip sustainable construction yang menekankan integrasi manajemen dan lingkungan (Kibert, 2016).

Analisis sensitivitas konseptual menunjukkan bahwa kegagalan pada salah satu variabel input dapat menurunkan efektivitas keseluruhan model. Negosiasi kontraktor dan konsultan pengawas yang tidak optimal dapat meningkatkan risiko deviasi pekerjaan (Bandu et al., 2025). Tinjauan risiko proyek jalan mengindikasikan bahwa kurangnya integrasi manajemen risiko memperbesar probabilitas keterlambatan dan pemborosan (Barri et al., 2022). Lean menyediakan mekanisme kontrol visual dan transparansi proses untuk memitigasi risiko tersebut. Integrasi green memperluas cakupan mitigasi pada dimensi lingkungan dan keberlanjutan.

Model konseptual ini juga mempertimbangkan dinamika pasar dan persepsi publik terhadap proyek berkelanjutan. Green marketing dalam strategi bisnis pengembang menunjukkan bahwa performa lingkungan meningkatkan nilai kompetitif proyek (Sugijono & Wimala, 2025). Kinerja proyek yang stabil dan efisien meningkatkan reputasi kontraktor di pasar regional. Lean memperkuat konsistensi jadwal dan kualitas, yang berimplikasi pada kepuasan pemangku kepentingan. Interaksi ini menunjukkan bahwa integrasi Lean–Green memiliki implikasi strategis pada level makro dan mikro.

Konfigurasi model pada konteks Manokwari menunjukkan relevansi tinggi karena karakteristik wilayah yang menghadapi tantangan logistik dan keterbatasan infrastruktur pendukung. Efisiensi proses yang ditawarkan lean berpotensi mengurangi pemborosan akibat keterlambatan pasokan material. Green construction memberikan kerangka normatif untuk memastikan pembangunan tidak meningkatkan tekanan ekologis lokal. Integrasi keduanya menciptakan sistem adaptif yang responsif terhadap keterbatasan sumber daya. Sintesis konseptual ini menempatkan Lean–Green sebagai arsitektur manajemen proyek yang kontekstual dan berbasis bukti ilmiah.

Implikasi Strategis, Tantangan Implementasi, dan Agenda Pengembangan Model Lean–Green

Sintesis literatur yang dianalisis menunjukkan bahwa implementasi Lean–Green pada proyek konstruksi di Manokwari harus dipahami sebagai transformasi sistem produksi, bukan sekadar adopsi instrumen manajerial parsial. Filosofi produksi baru dalam konstruksi menempatkan aliran proses dan penciptaan nilai sebagai pusat pengendalian proyek, sehingga setiap aktivitas yang tidak menambah nilai diperlakukan sebagai deviasi sistemik (Koskela, 1992). Ketika prinsip tersebut dikombinasikan dengan kerangka sustainable construction yang menuntut efisiensi sumber daya dan pengurangan dampak ekologis sepanjang siklus hidup bangunan, terbentuk kebutuhan akan restrukturisasi menyeluruh tata kelola proyek (Kibert, 2016). Literatur empiris menunjukkan bahwa pengaruh Lean Construction terhadap kinerja proyek tidak hanya berdampak pada efisiensi biaya dan waktu, tetapi juga meningkatkan konsistensi mutu melalui stabilisasi proses (Arifian & Riandi, 2024; Manurung et al., 2026). Integrasi ini dalam konteks Manokwari memiliki relevansi strategis karena karakteristik geografis dan logistik yang menuntut kontrol proses lebih ketat untuk menghindari pemborosan sumber daya yang mahal secara ekonomi dan ekologis.

Hambatan budaya organisasi muncul sebagai determinan kritis dalam keberlanjutan implementasi model, terutama pada proyek dengan pola kerja konvensional yang telah mengakar. Analisis faktor waste pada kontraktor memperlihatkan bahwa kurangnya internalisasi prinsip lean menyebabkan tingginya aktivitas non-value adding dan variasi pekerjaan yang tidak terkendali (Noviani & Rachma, 2025). Studi mengenai penyebab sisa material mengidentifikasi lemahnya koordinasi teknis dan perubahan desain sebagai pemicu pemborosan material yang berulang (Al Islami et al., 2025). Program pelatihan konstruksi ramping pada skala UMKM menunjukkan bahwa peningkatan literasi lean berdampak signifikan terhadap disiplin proses dan efisiensi kerja (Nurchahyo et al., 2025). Pola ini mengindikasikan bahwa strategi implementasi Lean–Green harus memprioritaskan rekayasa sosial organisasi melalui pendidikan, supervisi, dan insentif berbasis kinerja lingkungan.

Dimensi regulasi dan kebijakan publik memiliki implikasi struktural terhadap kecepatan adopsi green construction di tingkat proyek. Kajian integrasi pembangunan infrastruktur dengan jalur hijau menunjukkan bahwa dukungan kebijakan daerah memperkuat legitimasi praktik ramah lingkungan dalam proyek publik (Lovina, 2023). Laporan global sektor bangunan menekankan bahwa transisi menuju sektor konstruksi rendah emisi membutuhkan intervensi kebijakan berbasis standar dan insentif fiskal (United Nations Environment Programme, 2020). Integrasi green marketing dalam strategi bisnis pengembang memperlihatkan bahwa regulasi dapat mendorong diferensiasi produk konstruksi berbasis keberlanjutan (Sugijono & Wimala, 2025). Pada konteks Manokwari, sinkronisasi antara kebijakan daerah dan model Lean–Green berpotensi mempercepat transformasi praktik konstruksi menuju standar yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Manajemen risiko menjadi komponen analitis penting dalam memperkuat ketahanan model Lean–Green terhadap ketidakpastian proyek. Tinjauan sistematis risiko proyek jalan menunjukkan bahwa risiko teknis dan manajerial berkontribusi signifikan terhadap deviasi biaya dan jadwal (Barri et al., 2022). Analisis negosiasi antara kontraktor dan konsultan pengawas memperlihatkan bahwa konflik koordinasi meningkatkan frekuensi rework dan pemborosan sumber daya (Bandu et al., 2025). Lean menyediakan instrumen kolaboratif seperti pull planning dan visual control yang menurunkan variabilitas proses dan meningkatkan transparansi informasi. Integrasi green memperluas cakupan mitigasi risiko pada aspek lingkungan dengan memastikan bahwa setiap deviasi proses juga dievaluasi berdasarkan konsekuensi ekologisnya.

Dimensi teknologi digital memperlihatkan kapasitas sebagai penguat struktural integrasi Lean–Green dalam jangka panjang. Implementasi BIM 5D meningkatkan presisi estimasi biaya dan jadwal sehingga mengurangi potensi pemborosan akibat kesalahan perencanaan (Agustin et al., 2026). Kajian kontribusi BIM pada proyek BUMN menunjukkan peningkatan koordinasi lintas aktor dan pengendalian perubahan desain (Noviani & Sarifah, 2025). Digitalisasi metode konstruksi pada bangunan bertingkat tinggi memperlihatkan bahwa integrasi data real time menurunkan tingkat rework dan meningkatkan efisiensi alur informasi (Silitonga et al., 2024). Kombinasi lean, green, dan digitalisasi membentuk arsitektur manajemen proyek berbasis data yang adaptif terhadap dinamika lapangan.

Tabel 3. Analisis Mendalam Tantangan dan Intervensi Strategis Implementasi Lean–Green di Manokwari

Dimensi Analitis	Temuan Kunci Literatur	Dampak terhadap Proyek	Intervensi Strategis
Budaya organisasi	Resistensi perubahan dan rendahnya literasi lean	Tingginya waste dan variasi proses	Pelatihan terstruktur dan evaluasi kinerja berbasis lean
	Keterbatasan insentif dan standar lingkungan	Adopsi green tidak konsisten	Harmonisasi kebijakan daerah dan standar proyek

Risiko proyek	Konflik koordinasi dan ketidakpastian teknis	Rework dan deviasi biaya	Pull planning dan kontrol visual lean
Teknologi	Minim integrasi digital	Kesalahan estimasi dan monitoring lemah	Implementasi BIM 5D dan monitoring real time
Rantai pasok	Reverse logistic belum optimal	Pemborosan material dan energi	Green supply chain management terintegrasi

Sumber: Konstruksi analitis berdasarkan Barri et al., 2022; Bandu et al., 2025; Agustin et al., 2026; Pulansari et al., 2023; Setyaning, 2023.

Data pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa setiap dimensi tantangan memiliki implikasi langsung terhadap stabilitas proses dan performa lingkungan proyek. Hambatan budaya organisasi berdampak pada peningkatan waste yang secara simultan menaikkan biaya dan emisi karbon. Keterbatasan regulasi menyebabkan inkonsistensi standar green construction di tingkat operasional. Risiko koordinasi meningkatkan variabilitas pekerjaan yang dalam perspektif lean dikategorikan sebagai bentuk ketidakefisienan sistemik. Intervensi strategis yang teridentifikasi menekankan pendekatan integratif berbasis pelatihan, kebijakan, dan digitalisasi.

Dimensi rantai pasok dalam konteks wilayah perifer seperti Manokwari memiliki karakteristik risiko tambahan akibat keterbatasan akses material dan infrastruktur pendukung. Hambatan reverse logistic menunjukkan bahwa pengelolaan material sisa belum menjadi prioritas operasional dalam banyak perusahaan konstruksi (Pulansari et al., 2023). Pengembangan green recycling dan warehousing sebagai bagian dari green supply chain management dapat menurunkan kehilangan material dan meningkatkan efisiensi logistik (Setyaning, 2023). Pendekatan lean dalam penggunaan sumber daya memperkuat efektivitas strategi tersebut melalui pengurangan buffer dan inventori berlebih (Setiawan, 2024). Integrasi ini menegaskan bahwa Lean-Green harus diterapkan hingga level rantai pasok untuk menghasilkan dampak sistemik.

Implikasi strategis model Lean-Green juga mencakup dimensi daya saing proyek dan keberlanjutan bisnis jangka panjang. Green marketing dalam strategi pengembang memperlihatkan bahwa performa lingkungan meningkatkan persepsi kualitas dan nilai proyek di mata konsumen (Sugijono & Wimala, 2025). Efisiensi biaya dan waktu yang dihasilkan lean memperkuat keandalan kontraktor dalam memenuhi komitmen proyek. Analisis teoretis mengenai integrasi lean-green-six sigma menunjukkan bahwa stabilitas proses meningkatkan konsistensi mutu dan mengurangi variabilitas output (Ly, 2025). Relasi tersebut memperlihatkan bahwa Lean-Green memiliki implikasi strategis pada level operasional dan reputasional.

Rekomendasi pengembangan lanjutan diarahkan pada pengujian empiris model melalui pengumpulan data proyek aktual di Manokwari. Efisiensi waktu pengambilan data berbasis metode presisi menunjukkan bahwa integrasi teknologi pengukuran dapat meningkatkan akurasi evaluasi kinerja proyek (Mahardika et al., 2025). Penerapan green roof terintegrasi lean pada bangunan publik memperlihatkan potensi eksperimen lapangan untuk menghasilkan indikator kuantitatif kinerja lingkungan (Supriyo et al., 2025). Penelitian empiris tersebut diperlukan untuk memvalidasi hubungan kausal yang telah dirumuskan secara konseptual dalam studi ini. Pendalaman ini akan memperkuat basis evidensi ilmiah mengenai efektivitas Lean-Green dalam konteks konstruksi di wilayah berkembang.

Model Lean-Green memiliki kapasitas untuk merekonstruksi sistem manajemen proyek konstruksi di Manokwari menuju konfigurasi yang lebih efisien, resilien, dan berkelanjutan. Integrasi manajemen proses, kebijakan publik, teknologi digital, dan pengelolaan rantai pasok membentuk ekosistem implementasi yang saling memperkuat. Literatur yang dianalisis secara konsisten menegaskan bahwa efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan bukanlah dua agenda yang terpisah, melainkan dua dimensi dari sistem produksi konstruksi yang sama. Penguatan dimensi manusia, regulasi, dan teknologi menjadi prasyarat transformasi yang stabil. Model ini menyediakan

landasan konseptual yang dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi kerangka kuantitatif berbasis data proyek nyata pada penelitian berikutnya.

KESIMPULAN

Kajian sistematis ini menunjukkan bahwa integrasi Lean Construction dan Green Building membentuk konfigurasi manajemen proyek yang mampu meningkatkan efisiensi operasional sekaligus memperkuat kinerja lingkungan pada proyek konstruksi di Manokwari melalui mekanisme eliminasi waste, stabilisasi proses, dan penguatan tata kelola berbasis nilai. Sintesis kuantitatif literatur mengindikasikan potensi reduksi waste material sebesar 15–35%, penghematan biaya 10–20%, serta peningkatan efisiensi energi operasional hingga 30%, yang secara konseptual selaras dengan prinsip produksi ramping dan konstruksi berkelanjutan. Model integratif berbasis kerangka input–process–output menegaskan peran determinan komitmen manajemen, kapasitas sumber daya manusia, dukungan regulasi, serta integrasi teknologi digital seperti BIM dalam memediasi hubungan antara praktik lean dan capaian green building. Tantangan utama teridentifikasi pada dimensi budaya organisasi, koordinasi proyek, dan keterbatasan kebijakan, yang menuntut strategi intervensi berbasis pelatihan, harmonisasi regulasi, dan digitalisasi proses. Kontribusi penelitian ini terletak pada perumusan model konseptual Lean–Green yang kontekstual bagi wilayah berkembang dan menyediakan dasar analitis bagi pengujian empiris lanjutan berbasis data proyek aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, B. F., Hendriyani, I., & Devi, S. M. (2026). Penerapan Metode Building Information Modeling (Bim) 5d Dalam Pembangunan Rumah Tinggal. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 10(1), 159-168. <https://doi.org/10.32832/Komposit.V10i1.19121>
- Al Islami, M. I., Tuloli, M. Y., & Utiahman, A. (2025). Analisis Faktor Penyebab Sisa Material Pada Proyek Konstruksi Pembangunan Upt Bkn (Unit Pelaksana Teknis Badan Kepegawaian Negara) Gorontalo. *Research Review: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(1), 467-475. <https://doi.org/10.54923/Researchreview.V4i1.179>
- Arifian, M. D., & Riandi, M. H. (2024). Pengaruh Lean Construction Terhadap Kinerja Proyek. *Jurnal Kewirausahaan Dan Inovasi*, 3(3), 717-726. <https://doi.org/10.21776/Jki.2024.03.3.08>
- Bandu, J., Anggraini, L., Lestari, M. I., & Makupiola, C. A. (2025). Analisis Negosiasi Kontraktor Dan Konsultan Pengawas Dalam Penyelesaian Isu Lapangan Pada Proyek. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 11(02), 072-081. <https://doi.org/10.33506/Rb.V11i02.4933>
- Barri, A., Prawina, R. S., & Purba, H. H. (2022). Tinjauan Sistematis Dan Analisis Penilaian Risiko Pada Proyek Konstruksi Jalan. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, 20(2), 89-102. <https://doi.org/10.52330/Jtm.V20i2.53>
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable Construction: Green Building Design And Delivery* (4th Ed.). John Wiley & Sons.
- Koskela, L. (1992). *Application Of The New Production Philosophy To Construction* (Technical Report No. 72). Stanford University.
- Kurniawan, I., & Husin, A. E. (2023). Analisis Faktor Yang Berpengaruh Dalam Penerapan Konsep Green Pada Bangunan Flour Mill Plant Menggunakan Sem-Pls. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 275-286. <https://doi.org/10.24853/Jurtek.15.2.275-286>
- Lovina, R. (2023). Kajian Pembangunan Infrastruktur (Jalan, Jaringan Listrik, Telekomunikasi) Yang Disinergikan Dengan Pembangunan Jalur Hijau Di Kota Tanjungpinang. *Jurnal Archipelago*, 2(02), 181-193. <https://doi.org/10.69853/Ja.V2i02.42>
- Ly, A. (2025). Kajian Teoritis: Meningkatkan Efektivitas Proyek Konstruksi Menggunakan Lean, Green, Dan Six Sigma. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, 7(01), 426-440. <https://doi.org/10.53863/Kst.V7i01.1628>
- Mahardika, R., Mustofa, I., & Komari, A. (2025). Analisis Efisiensi Waktu Pengambilan Data Pada Proyek Rsp Nawacita Long Pahangai-Mahakam Ulu Dengan Metode Real Time Kinematic. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 4(2), 271-279. <https://doi.org/10.56211/Blendsains.V4i2.1098>

- Manurung, E. H., Hutagaol, K., & Putrafakhmi, D. (2026). Implementasi Lean Construction Untuk Meningkatkan Efisiensi Proyek. *Sinergi: Jurnal Riset Ilmiah*, 3(1), 202-207. <https://doi.org/10.62335/Sinergi.V3i1.2235>
- Noviani, S. A., & Rachma, I. N. (2025). Analisis Faktor Penyebab Waste Dalam Pendekatan Lean Construction Pada Beberapa Kontraktor. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 6(2). <https://doi.org/10.37058/Aks.V6i2.14239>
- Noviani, S. A., & Sarifah, F. (2025). Kajian Kontribusi Penerapan Building Information Modeling (Bim) Dalam Proyek Bumn Konstruksi Pada Tahun 2022. *Reinforcement Review In Civil Engineering Studies And Management*, 4(1), 13-22. <https://doi.org/10.38043/Reinforcement.V4i1.6163>
- Nurchahyo, C. B., Adi, T. J. W., Utomo, C., Indryani, R., Wiguna, I. P. A., Rohman, M. A., ... & Waliulu, Y. E. P. R. (2025). Pelatihan Pengembangan Infrastruktur Berkelanjutan Melalui Penerapan Konstruksi Ramping Skala Umkm. *Sewagati*, 9(2), 328-334. <https://doi.org/10.12962/J26139960.V9i2.2385>
- Pranita, R., Wibowo, M. A., & Sunaryo, B. (2022). Faktor Penerapan Normatif Green Construction Pada Pembangunan The Alton Apartemen. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 27(1), 65-75. <https://doi.org/10.32497/Wahanats.V27i1.3672>
- Pulansari, F., Rahmawati, N., & Nugraha, I. (2023). Faktor-Faktor Yang Menghambat Keberhasilan Implementasi Reverse Logistic (Case Studi: Construction Company). *Tekmapro*, 18(1), 1-12. <https://doi.org/10.33005/Tekmapro.V18i1.333>
- Setiawan, B. (2024). Pendekatan Lean Construction Dalam Penggunaan Sumber Daya Dalam Proyek Konstruksi. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 5311-5325. <https://doi.org/10.31004/Innovative.V4i4.13364>
- Setyaning, L. B. T. (2023). Pengembangan Aktivitas Green Construction, Green Recycling, Dan Green Warehousing Sebagai Bagian Dari Green Supply Chain Management Di Proyek Konstruksi. *Semesta Teknika*, 26(1), 21-27. <https://doi.org/10.18196/St.V26i1.16490>
- Silitonga, D. M., Hendrawan, S. Y., & Jin, O. F. (2024). Digitalisasi Metode Konstruksi Pada Proyek High-Rise Building. *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 795-806. <https://doi.org/10.24912/Jmts.V7i3.26755>
- Sugijono, E. J. W., & Wimala, M. (2025). Integrasi Green Marketing Dalam Strategi Bisnis Pengembang Rumah Tapak: Identifikasi Parameter Penilaian Dan Dampaknya. *Rekaracana: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 197. <https://doi.org/10.26760/Rekaracana.V11i2.197>
- Supriyo, R. H., Azhari, F. M., & Mustofa, I. (2025). Penerapan Green Roof Dengan Integrasi Lean Construction Pada Bangunan Gedung Pelayanan Publik Kabupaten Kediri. *Jurnal Civil Engineering Study*, 5(02), 1-16. <https://doi.org/10.34001/Ces.V5i02.1442>
- United Nations Environment Programme. (2020). *2020 Global Status Report For Buildings And Construction: Towards A Zero-Emissions, Efficient And Resilient Buildings And Construction Sector*