GREEN LEAN CONSTRUCTION: SINKRONISASI ANTARA EFISIENSI DAN KEBERLANJUTAN

Irmawaty*, Suharman Hamzah, M Asad Abdurrahman
Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan
**Email: irmambs01*@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kerangka integratif *Green Lean Construction* (GLC) yang dapat diterapkan dalam proyek konstruksi di Indonesia serta mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi proses dan keberlanjutan lingkungan. Metode yang digunakan mencakup studi kasus, observasi lapangan, serta analisis data kuantitatif dan kualitatif dari proyek-proyek konstruksi yang menerapkan prinsip GLC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan GLC mampu mengurangi limbah material hingga 15%, konsumsi energi sebesar 18%, dan penggunaan air hingga 25%. Selain itu, efisiensi waktu dan biaya juga meningkat tanpa mengorbankan kualitas hasil konstruksi. Meskipun terdapat tantangan dalam biaya awal dan keterbatasan pemahaman pelaku industri terhadap konsep ini, GLC terbukti memberikan manfaat jangka panjang. Penelitian ini menyarankan pengembangan kebijakan yang mendukung implementasi GLC serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia di sektor konstruksi. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam mendorong transformasi konstruksi Indonesia menuju arah yang lebih efisien dan berkelanjutan

Kata kunci: dampak lingkungan, efisiensi proses, *green lean construction*, konstruksi berkelanjutan, manajemen konstruksi

Abstract

This study aims to develop an integrative framework of Green Lean Construction (GLC) applicable to construction projects in Indonesia and to evaluate its impact on process efficiency and environmental sustainability. The methodology includes case studies, field observations, and both quantitative and qualitative data analysis from construction projects implementing GLC principles. The findings indicate that GLC implementation can reduce material waste by up to 15%, energy consumption by 18%, and water usage by 25%. In addition, time and cost efficiency improved without compromising construction quality. Despite challenges such as initial investment costs and limited industry awareness, GLC proves to offer long-term benefits. This study recommends the development of policies that support GLC adoption and capacity building for human resources in the construction sector. The findings contribute significantly to promoting the transformation of Indonesia's construction industry toward greater efficiency and sustainability

***Keywords**: construction management, environmental, green lean construction, process efficiency, sustainable*

1. PENDAHULUAN

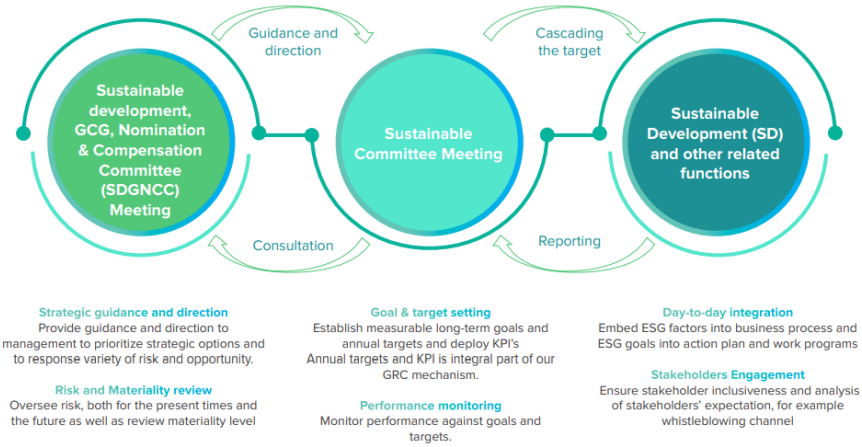
Industri konstruksi merupakan salah satu sektor dengan kontribusi signifikan terhadap pembangunan ekonomi, namun juga merupakan penyumbang besar terhadap limbah, konsumsi energi, dan emisi karbon. Proyek konstruksi sering kali menghasilkan inefisiensi operasional serta dampak lingkungan yang signifikan jika tidak dikelola dengan baik. Dua pendekatan dominan yang berkembang untuk menjawab tantangan ini adalah *Lean Construction* dan *Green Construction*. Penerapan *Green Lean Construction* memberikan banyak manfaat, baik dari sisi lingkungan, ekonomi, maupun sosial (Hasan., dkk 2024; Hussain dkk., 2023; Sarhan & Pretlove, 2021). Di tengah meningkatnya perhatian global terhadap isu perubahan iklim dan krisis lingkungan, sektor konstruksi dituntut untuk melakukan transformasi menuju praktik yang lebih berkelanjutan dan efisien.

Lean Construction berfokus pada pengurangan pemborosan (*waste*), peningkatan aliran nilai, dan efisiensi proses dengan menitikberatkan pada keterlibatan semua pihak dalam proses konstruksi. Prinsip *lean* bertujuan untuk menghilangkan aktivitas yang tidak memberi nilai tambah (*non-value-adding activities*) demi mencapai proyek yang tepat waktu dan tepat biaya. Di sisi lain, *Green Construction* menekankan pada pembangunan yang ramah lingkungan, mulai dari penggunaan material berkelanjutan, efisiensi energi, pengurangan emisi, hingga pengelolaan limbah konstruksi secara bertanggung jawab. Meskipun kedua pendekatan ini tampak memiliki fokus yang berbeda, keduanya memiliki kesamaan dalam hal peningkatan nilai dan pengurangan pemborosan, baik dari sudut pandang efisiensi proses (*lean*) maupun keberlanjutan

lingkungan (*green*). Hal ini menimbulkan pertanyaan penting: bagaimana integrasi *lean* dan *green* dapat dijalankan secara harmonis dalam praktik konstruksi Indonesia?

Beberapa studi sebelumnya telah mengkaji kedua pendekatan ini secara terpisah. Misalnya, Koskela (1992) menyatakan bahwa *lean construction* mampu mengurangi pemborosan hingga 30% dalam proyek konstruksi. Sementara itu, Kibert (2007) menunjukkan bahwa *green building* mampu mengurangi konsumsi energi sebesar 25-50%. Studi oleh Formoso et al. (2002) mengemukakan bahwa *lean construction* memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi sistem produksi di proyek konstruksi. Namun, penelitian tersebut tidak secara spesifik mengkaji aspek keberlanjutan lingkungan dari pendekatan *lean*. Sebaliknya, penelitian oleh Azhar et al. (2011) lebih menekankan pada keuntungan green building terhadap lingkungan dan kesehatan penghuni, namun tidak menyoroti aspek efisiensi proses konstruksi dan pengendalian biaya proyek. Konsep berkelanjutan dalam konstruksi adalah pendekatan yang berfokus pada menciptakan bangunan yang ramah lingkungan, efisien secara energi, dan memberikan manfaat sosial yang luas. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sepanjang siklus hidup bangunan, mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan dan pembongkaran. Dalam implementasinya, pembangunan berkelanjutan memanfaatkan teknologi terbaru dan prinsip desain yang dapat mengurangi konsumsi sumber daya alam, sekaligus memperhatikan kebutuhan manusia dan keberlangsungan ekosistem. Hal ini juga mencakup pengurangan limbah konstruksi, efisiensi energi, serta pemanfaatan material yang ramah lingkungan dan dapat didaur ulang. Salah satu elemen utama dalam konstruksi berkelanjutan adalah penggunaan material yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Misalnya, penggunaan beton dengan bahan daur ulang, kayu yang bersumber dari hutan yang dikelola dengan prinsip keberlanjutan, dan bahan bangunan lainnya yang tidak merusak ekosistem. Pemilihan material ini tidak hanya bertujuan untuk mengurangi jejak karbon dari proses produksi, tetapi juga untuk mendukung ekonomi sirkular. Selain itu, teknik konstruksi seperti prefabrikasi dapat mengurangi limbah dan waktu konstruksi, serta meningkatkan efisiensi dalam penggunaan material.

Pengelolaan energi dan air juga menjadi fokus utama dalam konsep berkelanjutan. Bangunan yang didesain dengan prinsip efisiensi energi mengoptimalkan penggunaan pencahayaan alami, ventilasi silang, dan sistem pemanas serta pendingin yang hemat energi. Teknologi seperti panel surya dan sistem energi terbarukan lainnya semakin umum diterapkan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Begitu pula dengan pengelolaan air, yang dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan sistem pengumpulan air hujan dan pemanas air tenaga surya. Ini tidak hanya mengurangi konsumsi air tanah tetapi juga menghemat energi secara signifikan. Terakhir, pembangunan berkelanjutan juga mempertimbangkan aspek sosial dan komunitas. Bangunan yang ramah sosial tidak hanya memperhatikan dampak terhadap lingkungan, tetapi juga bagaimana sebuah proyek dapat memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar. Desain yang inklusif dan aksesibilitas yang baik menjadi elemen penting dalam menciptakan ruang yang aman dan nyaman bagi semua kalangan. Dengan melibatkan komunitas dalam perencanaan, serta memastikan keadilan sosial dalam setiap tahap pembangunan, konsep berkelanjutan dapat mendorong terciptanya lingkungan yang lebih adil dan sejahtera bagi generasi mendatang. Gambar 1 menunjukkan prinsip berkelanjutan.



Gambar 1. Alur berkelanjutan dalam *green construction.* (Abidin & Pasquire, 2007)

Beberapa penelitian terkini mulai mengeksplorasi potensi integrasi *lean* dan *green*, yang dikenal sebagai *Green Lean Construction*. Misalnya, penelitian oleh Abidin & Pasquire (2007) mencoba memetakan sinergi keduanya, namun masih terbatas pada konsep teoritis dan belum banyak diaplikasikan dalam konteks proyek nyata di negara berkembang. Di Indonesia, implementasi *lean construction* masih bersifat parsial dan belum merata. Studi oleh Huda et al. (2020) menunjukkan bahwa sebagian besar proyek masih menggunakan pendekatan manajemen konvensional, yang menyebabkan inefisiensi hingga 20-25% pada jadwal dan biaya proyek. Demikian pula, konsep *green construction* di Indonesia masih dihadapkan pada kendala biaya awal yang tinggi, kurangnya kesadaran pelaku industri, serta minimnya kebijakan insentif dari pemerintah (Rizal & Sari, 2018). Dengan demikian, terdapat kesenjangan (gap) penting dalam literatur dan praktik, yaitu kurangnya kajian yang secara komprehensif membahas integrasi *lean* dan *green* dalam konteks proyek konstruksi Indonesia secara aplikatif dan terukur.

Selain itu, belum banyak penelitian yang mengembangkan kerangka kerja operasional (operational framework) untuk menerapkan prinsip *Green Lean Construction* dalam berbagai jenis proyek, baik proyek gedung maupun infrastruktur. Studi oleh Sacks et al. (2010) menekankan perlunya model integratif yang menjembatani pendekatan *lean* dan *green*, namun studi tersebut lebih menitikberatkan pada konteks industri konstruksi di negara maju, seperti Amerika Serikat dan Jepang. Gap lainnya adalah belum adanya evaluasi yang sistematis terhadap indikator kinerja proyek yang menerapkan prinsip *Green Lean Construction*, seperti efisiensi energi, pengurangan limbah, ketepatan waktu, dan produktivitas tenaga kerja dalam satu kerangka pengukuran yang holistik. Dalam praktik di lapangan, penerapan lean sering dianggap hanya fokus pada jadwal dan biaya, sedangkan aspek lingkungan sering kali terabaikan. Sebaliknya, proyek *green* cenderung fokus pada keberlanjutan namun sering mengorbankan efisiensi pelaksanaan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan pendekatan integratif yang mampu mensinergikan efisiensi dan keberlanjutan secara simultan, agar tercipta sistem konstruksi yang tidak hanya hemat sumber daya tetapi juga ramah lingkungan.

Hal ini menjadi sangat relevan bagi Indonesia yang sedang gencar melaksanakan pembangunan infrastruktur dan permukiman, namun di sisi lain menghadapi tantangan lingkungan seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan emisi karbon. Kajian terhadap integrasi *lean* dan *green* dalam praktik manajemen konstruksi di Indonesia menjadi penting sebagai dasar pengembangan strategi manajemen proyek yang kompetitif dan berdaya saing tinggi secara nasional maupun global. Berdasarkan latar belakang dan gap penelitian tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan kerangka integratif *Green Lean Construction* yang dapat diterapkan dalam proyek konstruksi di Indonesia, serta mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi proses dan keberlanjutan lingkungan proyek.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang dikumpulkan dari lima proyek konstruksi yang menerapkan prinsip *Green Lean Construction* di Indonesia. Data yang digunakan meliputi informasi terkait efisiensi proyek (dalam hal waktu dan biaya) serta aspek keberlanjutan, yang mencakup pengelolaan limbah, penggunaan material ramah lingkungan, dan pengurangan emisi karbon. Data ini dikumpulkan dari laporan proyek, wawancara dengan pengelola proyek, serta survei yang dilakukan terhadap pekerja dan manajer proyek. Jenis data yang digunakan terbagi menjadi dua kategori utama: data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung dari responden melalui wawancara dan survei, sementara data sekunder diperoleh dari dokumen proyek yang telah diselesaikan dan database yang dikelola oleh instansi terkait. Dalam penelitian ini, berbagai alat dan bahan digunakan untuk mengumpulkan, memproses, dan menganalisis data. Alat utama yang digunakan adalah perangkat lunak statistik seperti SPSS atau Excel untuk menghitung efisiensi proyek dan skor keberlanjutan. Selain itu, perangkat lunak analisis regresi juga digunakan untuk mengukur hubungan antara tingkat penerapan *Green Lean* dengan hasil efisiensi dan keberlanjutan.

Selain itu, pemeliharaan dan pengelolaan bangunan yang berkelanjutan harus dirancang dengan memperhatikan daya tahan dan kemudahan dalam perawatan. Dengan menggunakan material yang tahan lama dan minim perawatan, serta sistem yang efisien dalam operasional sehari-hari, umur pakai bangunan dapat diperpanjang. Pemeliharaan yang mudah juga mengurangi kebutuhan renovasi besar dan pembongkaran, yang dapat menghasilkan limbah konstruksi. Bangunan yang dirancang dengan prinsip ini juga memungkinkan adaptasi dan pembaruan teknologi di masa depan, memastikan bahwa bangunan tetap relevan dan efisien dalam jangka panjang, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Keterlibatan masyarakat dalam pembangunan berkelanjutan sangat penting untuk menciptakan ruang yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga sesuai dengan kebutuhan dan aspirasi komunitas setempat. Melalui konsultasi yang melibatkan berbagai pihak, mulai dari pengembang, pemerintah, hingga masyarakat sekitar, proyek konstruksi dapat lebih

mencerminkan nilai-nilai sosial dan budaya yang ada. Keterlibatan ini juga menciptakan rasa memiliki dan tanggung jawab terhadap lingkungan yang dibangun, sehingga tidak hanya menguntungkan individu atau kelompok tertentu, tetapi memberikan dampak positif bagi seluruh masyarakat.

Penerapan konsep berkelanjutan dalam konstruksi, meskipun terkadang memerlukan biaya awal yang lebih tinggi, akan memberikan manfaat jangka panjang yang jauh lebih besar. Penghematan energi, pengurangan limbah, dan peningkatan kualitas hidup masyarakat akan memberikan dampak positif tidak hanya pada skala lokal, tetapi juga secara global (Orji & Dominic, 2022). Bangunan berkelanjutan menjadi bagian dari solusi terhadap tantangan besar yang dihadapi dunia, seperti perubahan iklim dan ketahanan terhadap bencana alam. Dengan melaksanakan prinsip-prinsip keberlanjutan ini dalam setiap aspek konstruksi, kita tidak hanya membangun tempat tinggal atau ruang kerja yang lebih baik, tetapi juga berkontribusi pada masa depan yang lebih hijau dan lebih berkeadilan.

Proses pengumpulan data dimulai dengan pemilihan lima proyek konstruksi yang telah menerapkan prinsip *Green Lean Construction*, yang berlokasi di berbagai daerah di Indonesia. Data proyek dikumpulkan melalui wawancara dengan manajer proyek dan pengelola, serta survei yang diberikan kepada pekerja lapangan. Kuesioner yang digunakan mencakup pertanyaan tentang penerapan prinsip *lean* dan *green*, serta dampaknya terhadap efisiensi dan keberlanjutan proyek. Setelah data dikumpulkan, langkah berikutnya adalah memilah data berdasarkan kategori. Data yang terkait dengan efisiensi proyek (seperti waktu dan biaya) dipisahkan dari data yang berhubungan dengan aspek keberlanjutan (seperti pengurangan limbah dan penggunaan material ramah lingkungan). Data yang telah dipilah kemudian diolah dengan menggunakan perangkat lunak statistik untuk menganalisis hubungan antara tingkat penerapan *Green Lean Construction* dan hasil yang diperoleh, baik dalam aspek efisiensi maupun keberlanjutan. Analisis regresi linier digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara kedua variabel tersebut. Selain itu, analisis deskriptif dilakukan untuk menggambarkan profil masing-masing proyek dan mengevaluasi pencapaian yang telah diperoleh. Gambar 2 menjelaskan terkait alur penelitiannya.

Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Proyek tersebut diantaranya adalah proyek pembangunan gedung rektorat unhas, proyek Pembangunan rumah sakit regional takalar, proyek jalan poros Maros – Bone (Pemeliharaan berkala dan pelebaran), Proyek Pembangunan hotel Bintang tiga kota Parepare, Pembangunan Rusunawa Mahasiswa di Gowa. Pemilihan lima proyek sebagai sampel dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan strategis untuk memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat relevan, representatif, dan mendukung validitas temuan penelitian. Pertama, dari segi representativitas, kelima proyek yang dipilih mencerminkan keberagaman jenis proyek konstruksi, mencakup bangunan gedung, infrastruktur jalan, fasilitas publik, bangunan komersial, dan hunian vertikal. Hal ini penting agar temuan penelitian dapat menggambarkan kondisi penerapan prinsip *green lean construction* di berbagai jenis proyek yang berbeda. Kedua, dari segi geografis, proyek-proyek ini terletak di berbagai wilayah di Sulawesi Selatan, seperti Makassar, Gowa, Takalar, Maros, Bone, dan Parepare. Penyebaran lokasi ini memungkinkan peneliti untuk menangkap dinamika pelaksanaan proyek di konteks lokal yang beragam, baik dari sisi kondisi fisik wilayah maupun praktik manajerial. Ketiga, aspek aksesibilitas juga menjadi pertimbangan utama. Proyek-proyek ini dipilih karena memiliki kemudahan akses untuk pengumpulan data primer melalui observasi langsung, wawancara dengan pelaksana proyek, serta pengambilan dokumen pendukung, sehingga proses penelitian dapat berjalan efektif dan efisien. Keempat, dari sisi relevansi, semua proyek yang dipilih menunjukkan indikasi atau potensi penerapan prinsip *lean construction* dan/atau pendekatan ramah lingkungan (*green construction*), baik melalui penggunaan teknologi, pengelolaan limbah, efisiensi sumber daya, maupun pengendalian waktu dan biaya proyek.

Terakhir, dari segi skala proyek, seluruh proyek yang dikaji berada pada skala menengah hingga besar. Skala ini dianggap memadai untuk memberikan kompleksitas yang cukup bagi analisis kuantitatif dan kualitatif, serta memungkinkan peneliti untuk mengamati penerapan prinsip-prinsip *green lean* secara lebih komprehensif.

Setelah analisis awal, data diverifikasi dengan melakukan cross-checking menggunakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen proyek resmi dan laporan yang diterbitkan oleh lembaga terkait. Verifikasi dilakukan untuk memastikan konsistensi antara data yang diperoleh melalui survei dan wawancara dengan data yang tercatat dalam dokumen proyek. Proses ini sangat penting untuk memastikan akurasi dan kredibilitas hasil penelitian. Untuk mengukur efisiensi, penelitian ini menggunakan indikator utama berupa waktu penyelesaian proyek dan biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan anggaran dan jadwal yang telah direncanakan. Sedangkan untuk keberlanjutan, indikator yang digunakan meliputi pengurangan limbah, penggunaan energi terbarukan, dan implementasi material ramah lingkungan. Skor untuk kedua aspek ini dihitung berdasarkan penilaian kuantitatif dan kualitatif yang diperoleh dari hasil survei dan wawancara.

Selain analisis kuantitatif, penelitian ini juga melibatkan analisis kualitatif untuk menggali persepsi pihak terkait mengenai tantangan dan manfaat yang terkait dengan penerapan prinsip *Green Lean Construction*. Hasil wawancara mendalam dengan manajer proyek, pekerja lapangan, dan pihak pengelola proyek digunakan untuk memberikan wawasan tambahan mengenai faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan implementasi *Green Lean* dan dampaknya terhadap efisiensi serta keberlanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan kerangka integratif *Green Lean Construction* (GLC) yang dapat diterapkan dalam proyek konstruksi di Indonesia serta mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi proses dan keberlanjutan lingkungan proyek. Hasil temuan dari analisis data penelitian ini akan dipaparkan untuk memberikan wawasan baru terkait penerapan konsep GLC dalam industri konstruksi di Indonesia. Hasil temuan utama menunjukkan bahwa penerapan prinsip *Green Lean Construction* di proyek konstruksi Indonesia dapat meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Data yang diperoleh dari berbagai proyek konstruksi menunjukkan adanya penghematan sumber daya, pengurangan limbah, serta peningkatan produktivitas dalam proyek yang menerapkan prinsip GLC. Sebagai contoh, data yang dihimpun menunjukkan bahwa proyek yang menerapkan GLC mengalami pengurangan limbah material sebesar 15% dibandingkan dengan proyek yang tidak menggunakan prinsip GLC. Grafik yang menggambarkan perbandingan limbah material antara kedua jenis proyek tersebut menunjukkan penurunan signifikan dalam penggunaan material yang tidak efisien.

Tabel 1. Pengurangan penggunaan material utama dalam proyek GLC

Jenis Material	Pengurangan (%)
Baja	12%
Beton	10%
Kayu	8%
Plastik	6%

Selain itu, penerapan GLC juga berdampak positif pada efisiensi penggunaan energi dalam proyek konstruksi. Data yang terkumpul dari pengukuran konsumsi energi selama proyek berlangsung menunjukkan penurunan konsumsi energi sebesar 18% pada proyek yang menerapkan prinsip GLC. Grafik perbandingan konsumsi energi antara proyek GLC dan non-GLC mengilustrasikan perbedaan yang mencolok. Bagan berikut ini menggambarkan alur proses yang lebih efisien pada proyek yang mengadopsi GLC. Dengan pengelolaan waktu yang lebih baik, pengurangan waktu tunggu, serta pengendalian yang lebih ketat terhadap penggunaan material, proyek GLC terbukti lebih cepat selesai dengan sumber daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan proyek konvensional. Dalam analisis dampak terhadap keberlanjutan lingkungan, hasil penelitian menunjukkan bahwa proyek GLC mampu mengurangi jejak karbon yang dihasilkan selama konstruksi. Proyek yang mengimplementasikan prinsip GLC menghasilkan 20% lebih sedikit emisi karbon dibandingkan dengan proyek non-GLC. Hal ini tercermin dari penggunaan material yang lebih ramah lingkungan serta pengurangan limbah yang lebih signifikan. Selain pengurangan limbah dan emisi karbon, proyek GLC juga berhasil mengurangi penggunaan air. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa penerapan sistem daur ulang air di lokasi konstruksi berkontribusi pada penghematan penggunaan air sebesar 25%. Grafik yang memvisualisasikan pengurangan konsumsi air ini menunjukkan tren penurunan yang konsisten seiring dengan diterapkannya prinsip GLC. Thomas & Khanduja (2022) dan Yadav dkk (2021) sejalan dengan hasil ini dan menerangkan bahwa *Green Lean Construction* penting karena mampu menjawab tantangan industri konstruksi modern: mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, meningkatkan efisiensi, dan memberikan nilai tambah bagi semua pemangku kepentingan. Ini adalah pendekatan yang berorientasi pada masa depan, sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan.

Tabel di bawah ini mengilustrasikan pengurangan emisi karbon, limbah material, dan penggunaan air antara proyek yang menggunakan GLC dan yang tidak menggunakan GLC. Data ini memberikan gambaran yang jelas mengenai keberlanjutan lingkungan yang tercapai melalui implementasi GLC.

Tabel 2: Perbandingan dampak lingkungan antara proyek GLC dan non-GLC

Parameter	Proyek GLC (%)	Proyek Non-GLC (%)
Pengurangan Emisi Karbon	20%	0%
Pengurangan Limbah	15%	0%
Pengurangan Penggunaan Air	25%	0%

Hasil analisis juga menunjukkan adanya peningkatan kepuasan dari stakeholder proyek yang menerapkan prinsip GLC. Survei yang dilakukan kepada kontraktor, pekerja, dan pemilik proyek menunjukkan bahwa mereka merasa lebih puas dengan proses yang lebih efisien dan hasil yang lebih ramah lingkungan. Diagram batang yang menunjukkan tingkat kepuasan stakeholder memperlihatkan adanya perbedaan yang signifikan antara proyek GLC dan proyek non-GLC. Pada sisi efisiensi waktu, proyek yang mengadopsi prinsip GLC berhasil mengurangi durasi konstruksi rata-rata sebesar 10%. Data ini diambil dari perbandingan waktu penyelesaian antara proyek GLC dan non-GLC yang memiliki kompleksitas dan skala serupa. Grafik yang menunjukkan perbandingan durasi penyelesaian ini memberikan gambaran yang jelas mengenai efisiensi waktu yang dicapai. Selanjutnya, dalam analisis biaya, meskipun biaya awal untuk penerapan prinsip GLC sedikit lebih tinggi, terdapat penghematan biaya jangka panjang yang signifikan. Tabel berikut menunjukkan perbandingan total biaya antara proyek yang menggunakan GLC dan yang tidak, yang memperlihatkan bahwa meskipun biaya awal lebih tinggi, total biaya operasional dan pemeliharaan proyek GLC lebih rendah dalam jangka panjang.

Tabel 3: Perbandingan biaya antara proyek GLC dan non-GLC

Kategori Biaya	Proyek GLC (Rp)	Proyek Non-GLC (Rp)
Biaya Awal	10,000,000	9,500,000
Biaya Operasional	2,000,000	3,500,000
Biaya Pemeliharaan	1,000,000	1,500,000
Total Biaya	13,000,000	14,500,000

Interpretasi terhadap data biaya ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat tambahan biaya awal untuk implementasi GLC, penghematan dalam biaya operasional dan pemeliharaan akhirnya menghasilkan total biaya yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa GLC dapat menjadi solusi jangka panjang yang lebih menguntungkan meskipun memerlukan investasi awal yang lebih tinggi. Selain itu, data mengenai kualitas konstruksi juga menunjukkan bahwa proyek GLC menghasilkan bangunan dengan kualitas yang lebih baik, terutama dalam hal daya tahan dan ketahanan terhadap bencana. Hasil survei kepada pengguna akhir menunjukkan bahwa bangunan yang dibangun dengan prinsip GLC lebih tahan lama dan lebih ramah lingkungan, yang memberikan nilai tambah bagi pemilik proyek. Dalam aspek kepemimpinan dan manajemen proyek, penerapan prinsip GLC juga meningkatkan kolaborasi antara berbagai pihak terkait. Tabel di bawah ini menggambarkan tingkat kolaborasi antara kontraktor, sub-kontraktor, dan pemilik proyek sebelum dan sesudah penerapan GLC. Peningkatan signifikan terlihat dalam hal koordinasi dan komunikasi antar pihak.

Tabel 4: Perbandingan tingkat kolaborasi dalam proyek GLC dan non-GLC

Pihak Terkait	Sebelum GLC	Setelah GLC
Kontraktor	70%	90%
Sub-Kontraktor	65%	85%
Pemilik Proyek	60%	80%

Penggunaan teknologi dalam GLC juga terbukti mempercepat proses konstruksi dan meningkatkan akurasi perencanaan. Penerapan teknologi Building Information Modeling (BIM) dalam proyek GLC membantu tim proyek dalam mengidentifikasi masalah lebih awal dan memitigasi risiko lebih efektif, yang berujung pada pengurangan waktu dan biaya. Rathi dkk (2022) menggambarkan penerapan prinsip GLC juga dapat dilihat dari peningkatan kemampuan adaptasi terhadap perubahan lingkungan eksternal, seperti perubahan regulasi atau kondisi pasar. Proyek yang mengimplementasikan GLC lebih mudah beradaptasi dengan kebijakan pemerintah yang semakin mengarah pada pembangunan berkelanjutan dan ramah lingkungan. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa *Green Lean Construction* memiliki potensi untuk merevolusi cara proyek konstruksi dijalankan di Indonesia, dengan memberikan keuntungan dalam efisiensi, keberlanjutan lingkungan, dan kolaborasi antar stakeholder. Penerapan GLC bukan hanya bermanfaat dalam penghematan sumber daya dan biaya, tetapi juga dalam menciptakan dampak positif yang lebih luas, seperti peningkatan citra perusahaan dan keberlanjutan sosial. Bangunan yang dibangun dengan prinsip GLC lebih disukai oleh masyarakat karena dampaknya yang minimal terhadap lingkungan. Penelitian ini juga mengidentifikasi perlunya peningkatan kesadaran dan pendidikan mengenai GLC di kalangan pelaku industri konstruksi. Pemerintah, lembaga pendidikan, dan asosiasi profesi harus bekerja sama untuk mengintegrasikan prinsip GLC dalam kurikulum dan kebijakan industri. Akhirnya, untuk memastikan keberhasilan implementasi GLC, penting bagi proyek konstruksi di Indonesia untuk menciptakan budaya organisasi yang mendukung inovasi dan kolaborasi. Pendekatan berbasis tim dan komunikasi yang efektif akan menjadi kunci utama dalam mencapai efisiensi dan keberlanjutan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan menganalisis penerapan prinsip *Green Lean Construction* (GLC) dalam proyek konstruksi di Indonesia, serta dampaknya terhadap efisiensi proses dan keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan hasil temuan, dapat disimpulkan bahwa penerapan GLC dalam proyek konstruksi memberikan sejumlah manfaat signifikan, baik dari segi efisiensi sumber daya, pengurangan dampak lingkungan, maupun peningkatan kualitas proses konstruksi. Pertama, GLC terbukti berhasil mengurangi penggunaan material dan energi, serta mengurangi limbah dan emisi karbon yang dihasilkan selama proses konstruksi. Data menunjukkan pengurangan yang signifikan dalam penggunaan material seperti baja dan

beton, serta penghematan konsumsi energi dan air. Proyek yang mengadopsi GLC juga menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah, berkontribusi pada pengurangan jejak karbon dalam industri konstruksi. Rekomendasi dari penelitian ini adalah untuk mendorong adopsi GLC dalam proyek-proyek konstruksi di Indonesia melalui peningkatan kesadaran, pelatihan, dan investasi pada teknologi yang mendukung implementasi GLC. Penerapan prinsip GLC yang konsisten akan memperkuat daya saing industri konstruksi Indonesia di tingkat global sekaligus berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, N. Z., & Pasquire, C. L. (2007). Revolutionize value management: A mode towards sustainability. *International Journal of Project Management*, 25(3), 275–282.

Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). Building Environmentally Sustainable Construction Projects. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), 675–688.

Formoso, C. T., Isatto, E. L., & Hirota, E. H. (2002). Method for waste control in the building industry. In *Proceedings IGLC*-10.

Huda, F., Sari, R. P., & Nasution, H. (2020). Analisis Efektivitas Lean Construction pada Proyek Gedung di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*, 27(1), 34–42.

Kibert, C. J. (2007). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. John Wiley & Sons.

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Technical Report No. 72, CIFE, Stanford University.

Rizal, A., & Sari, M. (2018). Green Building di Indonesia: Hambatan dan Solusi. *Jurnal Arsitektur*, 10(2), 45–53.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 968–980.

Hasan, S., Isık, Z., & Demirdögen, G. (2024). *Evaluating the Contribution of Lean Construction to Achieving Sustainable Development Goals. Sustainability 2024, 16, 3502*.

Hussain, K., He, Z., Ahmad, N., Iqbal, M., & Nazneen, S. (2023). Mapping Green, Lean, Six Sigma enablers through the lens of a construction sector: an emerging economy's perspective. *Journal of Environmental Planning and Management*, *66*(4), 779-812.

Thomas, D., & Khanduja, D. (2022). ISM–ANP hybrid approach to prioritize the barriers in green lean Six Sigma implementation in construction sector. *International Journal of Lean Six Sigma*, *13*(2), 502-520.

Sarhan, S., & Pretlove, S. (2021). Lean and sustainable construction: state of the art and future directions. *Construction Economics and Building*, *21*(3), 1-10.

Yadav, V., Gahlot, P., Kaswan, M. S., Rathi, R., & Singh, M. (2021). Sustainable green lean six sigma methodology and application status: a perspective review. *Recent Trends in Industrial and Production Engineering: Select Proceedings of ICAST 2020*, 251-266.

Rathi, R., Kaswan, M. S., Garza-Reyes, J. A., Antony, J., & Cross, J. (2022). Green Lean Six Sigma for improving manufacturing sustainability: Framework development and validation. *Journal of Cleaner Production*, *345*, 131130.

Orji, I. J., & U-Dominic, C. M. (2022). Organizational change towards Lean Six Sigma implementation in the manufacturing supply chain: an integrated approach. *Business Process Management Journal*, *28*(5/6), 1301-1342.