

Integrasi Penerapan Prinsip *Lean Construction* dan Sirkular 3R dalam Pengelolaan Material untuk Mewujudkan Konstruksi Berkelanjutan

Salsa Ameliya Putri^{1*}, Aryati Indah Kusumastuti²
^{1,2}Universitas Swadaya Gunung Jati, Cirebon, Indonesia

Corresponding Author's e-mail: salsaameliyaputri@gmail.com

ARMADA
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 07 Juli, 2026

Page: 2850-2864

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i7.3099>

Article History:

Received: Mei 23, 2026

Revised: Juni 17, 2026

Accepted: Juli 16, 2026

Abstract : *This study aims to evaluate the implementation of Lean Construction and the 3R principles (Reduce, Reuse, Recycle) in material management and their contribution to sustainable construction in the RSK Dharmais Parking Building and Facilities Development Project (Tower B). The study employed an evaluative approach using a quantitative descriptive case-study method. Data were obtained from project documents and analysed through a scoring system based on Lean Construction and 3R indicators. The results show that Lean Construction implementation reached 93.75% and was classified as very high. The Waste Control and Reduction, Process Transparency, and People Involvement indicators achieved 100%, while Planning and Continuous Improvement and Flow Efficiency and Pull System reached 87.5% and 83%, respectively. The implementation of the 3R principles reached 83%, with full application of Reduce and Reuse, whereas Recycle remained limited. Lean Construction supported the 3R principles by reducing waste, improving planning, controlling material flows, and optimising reuse to advance sustainable construction.*

Keywords: *Lean Construction, 3R, Material Management, Waste Material, Sustainable Construction.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan mengevaluasi penerapan Lean Construction dan prinsip 3R (Reduce, Reuse, Recycle) dalam pengelolaan material serta kontribusinya terhadap konstruksi berkelanjutan pada Proyek Pembangunan Gedung Parkir dan Fasilitasnya (Tower B) RSK Dharmais. Penelitian menggunakan pendekatan evaluatif dengan metode deskriptif kuantitatif berbasis studi kasus. Data diperoleh dari dokumen aktual proyek dan dianalisis melalui sistem scoring berdasarkan indikator Lean Construction dan 3R. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Lean Construction mencapai 93,75% dan termasuk kategori sangat tinggi. Indikator Waste Control & Reduction, Process Transparency, dan People Involvement memperoleh nilai 100%, sedangkan Planning & Continuous Improvement serta Flow Efficiency & Pull System masing-masing mencapai 87,5% dan 83%. Penerapan prinsip 3R mencapai 83%, dengan pelaksanaan penuh pada Reduce dan Reuse, sementara Recycle masih terbatas. Lean Construction mendukung penerapan 3R melalui pengurangan pemborosan, peningkatan perencanaan, pengendalian aliran material, dan optimalisasi penggunaan kembali material untuk mendukung konstruksi berkelanjutan.

Kata Kunci: Lean Construction, 3R, Pengelolaan Material, Waste Material, Konstruksi Berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor dengan tingkat konsumsi material yang tinggi dan berpotensi menghasilkan *waste material* dalam jumlah besar selama pelaksanaan proyek. Tingginya kebutuhan terhadap material seperti beton, baja, dan bahan *finishing* berkontribusi terhadap peningkatan eksploitasi sumber daya alam sekaligus timbulan limbah konstruksi. Sejalan dengan tuntutan pembangunan berkelanjutan, keberhasilan proyek konstruksi tidak lagi hanya dinilai berdasarkan biaya, mutu, dan waktu, tetapi juga berdasarkan efisiensi penggunaan sumber daya serta pengendalian dampak lingkungan (Bigwanto et al., 2024; Hafiane et al., 2025). Material merupakan salah satu komponen biaya terbesar sekaligus sumber utama limbah dalam proyek konstruksi, terutama apabila proses pengadaan, penyimpanan, distribusi, dan penggunaannya tidak dikendalikan secara efektif (Intan et al., 2007; Liman et al., 2020; Lestari et al., 2022). Laporan *Global Waste Management Outlook 2024* menunjukkan bahwa sektor konstruksi menggunakan lebih dari 35% material global dan limbah konstruksi serta pembongkaran berkontribusi sekitar 40% terhadap total limbah padat dunia (Lenkiewicz, 2024). Besarnya timbulan limbah tersebut mengindikasikan adanya inefisiensi penggunaan sumber daya. Pengelolaan material yang kurang baik dapat memicu pembelian berlebih, pekerjaan ulang, kerusakan material, waktu tunggu, serta kelebihan persediaan yang pada akhirnya meningkatkan volume *waste material* dan biaya proyek (Irianto et al., 2022; Anggraini et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pengelolaan material yang mampu meningkatkan efisiensi sekaligus mencegah pemborosan sejak tahap perencanaan hingga pelaksanaan.

Perubahan dari pengelolaan material konvensional menuju pendekatan yang lebih sistematis diperlukan untuk meningkatkan efisiensi aliran dan penggunaan material. Pengelolaan konvensional umumnya berorientasi pada pemenuhan ketersediaan material tanpa mengintegrasikan pengendalian aliran, pencegahan pemborosan, dan penciptaan nilai secara menyeluruh. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi kondisi tersebut adalah *Lean Construction*. Koskela (1992, 2000) menjelaskan bahwa prinsip utama *Lean Construction* meliputi pengurangan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, peningkatan kelancaran aliran proses, serta penciptaan nilai bagi pengguna. Dalam pengelolaan material, *Lean Construction* tidak hanya digunakan untuk mengendalikan limbah, tetapi juga untuk meningkatkan efektivitas perencanaan, pengadaan, penyimpanan, distribusi, dan penggunaan material. Implementasinya dapat dilakukan melalui *waste control*, *pull planning*, *Last Planner System*, *Just-in-Time delivery*, pengelolaan kendala, dan perbaikan berkelanjutan (Anggraini, 2022; Irianto et al., 2022; Jayanetti et al., 2023). Penerapan mekanisme tersebut dapat mengurangi pekerjaan ulang, waktu tunggu, kelebihan persediaan, serta penggunaan material yang tidak sesuai kebutuhan aktual proyek.

Pengurangan *waste material* tidak hanya dilakukan melalui pengendalian proses menggunakan *Lean Construction*, tetapi juga melalui optimalisasi nilai guna material berdasarkan prinsip 3R, yaitu *Reduce*, *Reuse*, dan *Recycle*. Prinsip *Reduce* menekankan pencegahan dan pengurangan penggunaan material baru, *Reuse* berorientasi pada penggunaan kembali material yang masih layak, sedangkan *Recycle* diarahkan pada pengolahan limbah menjadi material atau produk yang dapat dimanfaatkan kembali (Mohammed et al., 2021; Luh et al., 2023). Penerapan prinsip 3R dapat mengurangi kebutuhan terhadap sumber daya baru, memperpanjang masa guna material, dan menekan jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan (Hidayaha & Wimala, 2024; Ostadnorouzi et al., 2025). Integrasi *Lean Construction* dan prinsip 3R berpotensi menghasilkan sistem pengelolaan material yang lebih efisien melalui pencegahan pemborosan, optimalisasi aliran material, pemanfaatan kembali sumber daya, dan pengurangan limbah konstruksi. Integrasi tersebut juga memperkuat hubungan antara efisiensi operasional proyek dan pencapaian konstruksi berkelanjutan dari aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial (Tafazzoli & Mousavi, 2020; Irmawaty et al., 2025; Hafiane et al., 2025).

Penelitian terdahulu telah membahas penerapan *Lean Construction*, pengelolaan limbah konstruksi, dan prinsip 3R melalui berbagai metode, termasuk kuesioner, wawancara, model

kematangan, dan kajian literatur (Zulaida et al., 2019; Jayanetti et al., 2023; Hidayaha & Wimala, 2024). Akan tetapi, evaluasi yang mengintegrasikan *Lean Construction* dan prinsip 3R berdasarkan bukti implementasi dalam dokumen aktual proyek masih relatif terbatas. Pendekatan berbasis persepsi berpotensi dipengaruhi oleh pengalaman, pemahaman, dan subjektivitas responden, sehingga belum selalu menggambarkan konsistensi penerapan pada tingkat operasional. Selain itu, hasil kajian sistematis menunjukkan bahwa integrasi prinsip *lean* dan ekonomi sirkular dalam industri konstruksi masih terfragmentasi serta memerlukan instrumen evaluasi yang lebih terukur dan berbasis bukti proyek (Hidayaha & Wimala, 2024; Hafiane et al., 2025). Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi penerapan *Lean Construction* dan prinsip 3R menggunakan dokumen aktual proyek sebagai sumber bukti. Evaluasi difokuskan pada pengelolaan material dan dilakukan dengan mengidentifikasi bukti penerapan setiap indikator, mengukur tingkat implementasinya, serta menganalisis implikasinya terhadap konstruksi berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi tingkat penerapan *Lean Construction* dan prinsip *Reduce, Reuse, dan Recycle* dalam pengelolaan material pada Proyek Pembangunan Gedung Parkir dan Fasilitasnya (Tower B) RS Kanker Dharmais. Penelitian juga menganalisis keterkaitan antara penerapan *Lean Construction* dan implementasi prinsip 3R untuk mengidentifikasi sejauh mana pengendalian pemborosan, peningkatan keandalan perencanaan, pengaturan aliran material, dan keterlibatan pemangku kepentingan mendukung pengelolaan material yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Selanjutnya, penelitian menganalisis implikasi integrasi kedua pendekatan tersebut terhadap konstruksi berkelanjutan, khususnya dalam meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi limbah konstruksi, mengendalikan biaya, dan memperkuat koordinasi antarpihak dalam pelaksanaan proyek. Hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran berbasis bukti mengenai kontribusi *Lean Construction* dan prinsip 3R dalam mewujudkan sistem pengelolaan material yang efisien, minim limbah, dan berorientasi pada keberlanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan evaluatif dengan metode deskriptif kuantitatif berbasis studi kasus untuk menilai tingkat penerapan *Lean Construction* dan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) pada Proyek Pembangunan Gedung Parkir dan Fasilitasnya (Tower B) RS Kanker Dharmais. Objek penelitian merupakan bangunan seluas 14.474 m² di atas lahan 1.934 m² yang terdiri atas dua lantai basemen, sepuluh lantai parkir, tiga lantai rumah singgah, dan satu lantai auditorium dengan sistem struktur rangka momen khusus beton bertulang. Kompleksitas pekerjaan dan keragaman material pada proyek tersebut menjadikannya relevan sebagai studi kasus dalam mengevaluasi potensi pemborosan material dan penerapan pengelolaan konstruksi berkelanjutan. Penelitian tidak diarahkan untuk membandingkan antarproyek, melainkan untuk mengidentifikasi tingkat implementasi setiap indikator pada satu proyek secara mendalam.

Data dikumpulkan melalui analisis dokumen terhadap *waste register*, monitoring material, *constraint log*, *logistic plan*, laporan *Lean Construction*, *Last Planner System*, dan dokumen proyek terkait lainnya. Dokumen dianalisis secara sistematis menggunakan *content analysis* untuk mengidentifikasi dan memverifikasi bukti penerapan indikator *Lean Construction* LC.1–LC.5 dan indikator 3R.1–3R.3. Setiap temuan kemudian dikodekan, diklasifikasikan, dan dievaluasi menggunakan sistem *scoring* berdasarkan tingkat implementasinya. Skor selanjutnya dikonversi menjadi nilai indeks dan persentase tingkat penerapan, sehingga dapat digunakan untuk menentukan indikator yang telah diterapkan secara optimal maupun yang masih memerlukan perbaikan. Tahapan analisis meliputi penelaahan dokumen, identifikasi bukti implementasi, pengodean, klasifikasi indikator, pemberian skor, serta interpretasi hasil secara kuantitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Objek Penelitian



Gambar 2. Lokasi objek penelitian
(sumber : dokumen proyek PT.PP (persero) Tbk)

Proyek pembangunan gedung parkir dan fasilitasnya (Tower B) RS Kanker Dharmas yang terletak di Jl. Letjen S.Parman, Slipi, Jakarta Barat yang dibangun di atas lahan seluas 1.934 m² dengan total luas bangunan 14.474 m². Proyek tersebut membangun sebuah gedung fasilitas (Tower B) yang terdiri dari 10 lantai parkir yang dilengkapi juga dengan area *food court*, 3 lantai rumah singgah, 1 lantai auditorium dan JPO yang menghubungkan Tower B dan Tower C. Kondisi tersebut menunjukkan tingkat kompleksitas pekerjaan yang tinggi, baik dari segi teknis maupun manajerial, seperti keterikatan pekerjaan yang memerlukan adanya disiplin koordinasi sehingga berpotensi menimbulkan pemborosan material (*waste*). Berdasarkan hasil observasi awal selama pelaksanaan kerja praktik, proyek tersebut menunjukkan indikasi penerapan *lean construction* dan prinsip 3R, seperti dalam pengendalian material, pencatatan *waste*, serta upaya efisiensi penggunaan material. Dengan demikian, proyek ini dinilai representatif sebagai studi kasus untuk mengevaluasi tingkat penerapan *lean construction* dan prinsip 3R serta integrasi kedua prinsip tersebut dalam upaya mewujudkan konstruksi berkelanjutan berbasis data aktual proyek.

Evaluasi Tingkat Penerapan Lean Construction

Tabel 1. Indikator Lean Construction dan 3R

VARIABEL	INDIKATOR	SUB INDIKATOR	DOKUMEN PENDUKUNG
LEAN CONSTRUCTION	waste control & reduction	identifikasi waste	waste register
		monitoring waste	tren waste material
		pengendalian rework	NCR, corrective action
	planning & continuous improvement	keandalan perencanaan	PPC
		perencanaan jangka pendek	lookahead planning
		pengelolaan kendala	constraint log
		tindakan perbaikan	corrective action
	flow efficiency & pull system	sistem pull planning	pull planning
		ketepatan pengandaan material	delivery record
		kelancaran aliran material	logistic plan
	process transparency	transparansi informasi material	dashboard informasi
		dokumentasi proyek	dokumentasi proyek
		visual management	papan informasi
PRINSIP 3R	people involvement	koordinasi tim	meeting minutes
		keterlibatan stakeholder	rapat koordinasi
		penyelesaian masalah kolaboratif	action plan
	reduce	pengurangan excess material	material report
		pengurangan waste material	waste register
	reuse	penggunaan material reuseable	dokumentasi proyek
		optimasi penggunaan material	material report
	recycle	pemilahan dan pengelolaan limbah	dokumentasi proyek, SOP pengelolaan limbah
		pendaurulangan limbah	dokumentasi proyek

Indikator dan subindikator penelitian disusun berdasarkan relevansi terhadap data aktual proyek yang tersedia sehingga evaluasi dapat dilakukan secara objektif dan terukur. Selain itu, indikator dipilih berdasarkan karakteristik penerapan *Lean Construction* yang dapat diobservasi melalui dokumen proyek, seperti pengendalian *waste*, sistem perencanaan, pengendalian aliran

material, dan transparansi proses pekerjaan. Pemilihan indikator dan subindikator penelitian dilakukan berdasarkan kesesuaian dengan prinsip *Lean Construction* dan konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) yang berkaitan dengan pengendalian *waste* material, efisiensi proses konstruksi, serta pengelolaan sumber daya proyek.

Selain itu, indikator dipilih berdasarkan relevansinya terhadap data aktual proyek yang tersedia sehingga evaluasi tingkat penerapan dapat dilakukan secara sistematis dan terukur. Indikator *Lean Construction* dalam penelitian ini disusun berdasarkan prinsip pengurangan *waste*, *continuous improvement*, *flow process*, *transparency*, dan *collaborative planning* yang dikembangkan dalam konsep *Lean Construction*. Sementara itu, indikator 3R digunakan untuk mengevaluasi upaya pengurangan, penggunaan kembali, dan pengelolaan limbah material konstruksi sebagai bagian dari upaya mewujudkan konstruksi berkelanjutan.

Tabel 2. Hasil Scoring Penerapan Lean Construction

Indikator	Persentase
Waste Control & Reduction	100%
Planning & Continuous Improvement	87,5%
Flow Efficiency & Pull System	83%
Process Transparency	100%
People Involvement	100%

Indikator waste control & reduction memperoleh tingkat penerapan sebesar 100%. Namun, hasil tersebut tidak sepenuhnya berarti bahwa proyek sepenuhnya bebas dari waste material. Persentase tersebut menunjukkan bahwa seluruh mekanisme pengendalian yang menjadi kriteria penilaian telah diterapkan secara konsisten dan didukung oleh bukti yang memadai. Dengan kata lain, evaluasi dilakukan pada tingkat penerapan sistem pengendalian waste, bukan besarnya waste yang terjadi. Selanjutnya, indikator planning & continuous improvement mencapai 87,5%. Persentase tersebut tergolong ke dalam tingkat penerapan tinggi. Namun, pada indikator yang menunjukkan fungsi lookahead planning, hasil evaluasi mengindikasikan adanya penerapan yang kurang optimal. Temuan tersebut ditunjukkan dengan adanya kendala yang baru teridentifikasi setelah pekerjaan tersebut dimulai. Secara prinsip, hambatan diidentifikasi pada tahap lookahead planning sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum memasuki tahap pelaksanaan. Adanya keterlambatan identifikasi kendala menunjukkan bahwa proses skrining belum sepenuhnya mampu mengantisipasi risiko yang mungkin terjadi selama proses pekerjaan. Meskipun secara kuantitatif jumlah kendala yang terlambat hanya satu dari enam kendala, kondisi tersebut tetap mengindikasikan adanya kesenjangan antara praktik aktual proyek dengan prinsip ideal Last Planner System (LPS). Temuan tersebut mengindikasikan bahwa mekanisme perencanaan jangka pendek telah diterapkan dengan baik, namun masih terdapat peluang peningkatan dalam proses identifikasi risiko dan kesiapan pekerjaan.

Penerapan indikator flow efficiency & pull system memperoleh tingkat penerapan yang tinggi, yaitu 83%. Hasil evaluasi tersebut menunjukkan bahwa prinsip pull system belum sepenuhnya tercermin pada seluruh aktivitas pengadaan material. Adanya overlap pada pengadaan material besi beton mengindikasikan bahwa proses pemesanan material masih mengandung karakteristik push system. Praktik tersebut ditunjukkan melalui keputusan pengadaan yang dilakukan sebelum status pengiriman diverifikasi secara lengkap. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian antara kebutuhan aktual pekerjaan dengan jumlah material yang tersedia di lapangan.

Tingkat penerapan pada indikator process transparency mencapai 100%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa seluruh mekanisme transparansi proses yang menjadi kriteria penilaian telah diterapkan secara konsisten pada proyek tersebut. Persentase tersebut diperoleh melalui kemudahan dalam mengakses informasi pekerjaan, pemantauan progres pekerjaan secara berkala, serta bantuan komunikasi antarpihak yang terlibat. Keberadaan pull planning board menunjukkan kecenderungan adanya praktik transparansi proses. Pull planning board tersebut, selain sebagai alat perencanaan, juga digunakan sebagai media komunikasi visual yang menunjukkan status

pekerjaan secara langsung kepada seluruh tim. Praktik tersebut membantu mengurangi ketidakpastian informasi dan meningkatkan koordinasi pelaksanaan pekerjaan. Meskipun demikian, hasil evaluasi ini tidak secara otomatis menunjukkan bahwa seluruh informasi proyek telah tersampaikan secara sempurna kepada seluruh pemangku kepentingan. Penelitian ini hanya mengevaluasi keberadaan dan implementasi mekanisme transparansi berdasarkan bukti dokumen dan observasi lapangan. Oleh karena itu, aspek efektivitas komunikasi antarindividu belum menjadi ruang lingkup penelitian.

Tingkat penerapan *people involvement* sebesar 100% menunjukkan bahwa mekanisme keterlibatan seluruh pemangku kepentingan yang menjadi kriteria penilaian telah diterapkan secara konsisten pada proyek. Keterlibatan stakeholder tidak hanya terlihat pada tahap pelaksanaan pekerjaan, tetapi juga pada proses perencanaan dan pengendalian melalui implementasi Last Planner System. Temuan adanya pendampingan terhadap subkontraktor dalam proses pengisian LPS menunjukkan bahwa proyek tidak hanya menuntut partisipasi stakeholder, tetapi juga berupaya meningkatkan pemahaman dan kapasitas stakeholder agar mampu berpartisipasi secara efektif dalam sistem perencanaan yang diterapkan. Selain itu, seluruh kendala yang tercatat dalam Constraint Log berhasil diselesaikan. Dari perspektif Lean Construction, kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses komunikasi dan koordinasi antarpihak berjalan dengan baik sehingga hambatan yang muncul dapat ditangani secara kolaboratif.

Hasil penelitian yang menunjukkan tingkat penerapan Lean Construction sebesar 93,75% sejalan dengan teori Lean Construction yang dikemukakan oleh Koskela (1992), bahwa tujuan utama Lean Construction adalah menghilangkan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*waste*), meningkatkan kelancaran aliran proses (*flow*), dan memaksimalkan nilai (*value*) bagi pelanggan. Menurut Koskela (2000), keberhasilan penerapan Lean Construction ditandai oleh kemampuan proyek dalam mengendalikan pemborosan, meningkatkan transparansi proses, memperbaiki sistem perencanaan, dan melibatkan seluruh pemangku kepentingan dalam proses pengambilan keputusan. Oleh karena itu, tingginya capaian pada indikator Waste Control & Reduction, Process Transparency, dan People Involvement menunjukkan bahwa proyek telah mengimplementasikan prinsip dasar Lean Construction secara efektif.

Evaluasi Tingkat Penerapan Prinsip 3R

Tabel 3. Hasil Scoring Penerapan Prinsip 3R

Indikator	Persentase
Reduce	100%
Reuse	100%
Recycle	83%

Tingkat penerapan sebesar 100% menunjukkan bahwa seluruh mekanisme yang menjadi kriteria penilaian indikator *Reduce* telah diterapkan pada proyek. Namun, hasil evaluasi ini tidak menunjukkan bahwa proyek berhasil menghilangkan seluruh limbah material, melainkan menunjukkan bahwa proyek telah menerapkan berbagai upaya sistematis untuk mengurangi timbulnya limbah sejak sumbernya. Temuan adanya pengendalian terhadap volume material yang didatangkan ke proyek menunjukkan adanya upaya untuk menyesuaikan volume pendatangan dengan kebutuhan aktual. Dengan melakukan pengendalian material pada tahap pengiriman material, potensi terjadinya excess inventory dapat dikurangi. Berbeda dengan praktik konstruksi konvensional, material sering kali dipesan dengan jumlah yang berlebihan sebagai bentuk antisipasi terhadap kekurangan material.

Selain itu, praktik konversi mutu beton menunjukkan bahwa proyek tidak hanya berfokus pada pengurangan limbah melalui pengendalian pengadaan, tetapi juga melalui optimalisasi pemanfaatan material yang telah tersedia. Kondisi tersebut mencerminkan pendekatan yang lebih proaktif dalam penerapan prinsip *Reduce*. Temuan lain yang memperkuat penerapan indikator ini adalah adanya tren penurunan *waste* material selama periode pelaksanaan proyek. Tren tersebut menunjukkan bahwa sistem pengelolaan material yang diterapkan tidak hanya bersifat administratif, tetapi juga menghasilkan perbaikan kinerja yang dapat diamati melalui data aktual proyek. Temuan ini mendukung konsep *reduce* dalam hierarki pengelolaan limbah yang

menempatkan pencegahan limbah sebagai prioritas utama dibandingkan dengan penanganan limbah setelah terbentuk. Menurut Mohammed et al. (2021), prinsip *Reduce* merupakan strategi paling efektif dalam pengelolaan limbah konstruksi karena mampu menurunkan konsumsi sumber daya, mengurangi volume limbah, dan meningkatkan efisiensi penggunaan material sejak tahap perencanaan hingga pelaksanaan proyek.

Tingkat penerapan sebesar 100% menunjukkan bahwa seluruh mekanisme penggunaan kembali material yang menjadi kriteria penilaian telah diterapkan pada proyek. Dari perspektif pengelolaan material, penggunaan alform tidak hanya memberikan manfaat terhadap pengurangan limbah material, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional melalui penggunaan berulang dalam jumlah siklus yang tinggi. Selain itu, praktik peminjaman material antarproyek menunjukkan adanya pendekatan pengelolaan material yang lebih fleksibel dan efisien. Material yang masih memiliki nilai guna tidak langsung digantikan dengan material baru, melainkan dimanfaatkan kembali untuk memenuhi kebutuhan proyek lain. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penerapan *Reuse* pada proyek tidak hanya dilakukan pada tingkat material individual, tetapi juga pada tingkat pengelolaan sumber daya secara lebih luas. Dengan demikian, manfaat yang diperoleh tidak hanya berupa pengurangan limbah, tetapi juga pengurangan kebutuhan pengadaan material baru. Hasil penelitian ini sejalan dengan konsep *circular economy* yang menekankan pemanfaatan kembali sumber daya untuk memperpanjang umur pakai material. Menurut Istiqomah et al. (2020), prinsip *Reuse* bertujuan mempertahankan nilai guna material selama mungkin sehingga kebutuhan terhadap material baru dapat diminimalkan. Penggunaan bekisting aluminium dan pemanfaatan kembali material antarproyek menunjukkan implementasi konsep tersebut dalam praktik konstruksi.

Tingkat penerapan *recycle* sebesar 50%. Temuan penelitian menunjukkan bahwa proyek telah memiliki kesadaran terhadap pentingnya pengelolaan limbah melalui penyediaan fasilitas pemilahan sampah dan penerapan SOP pengelolaan limbah B3. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa infrastruktur dasar yang mendukung implementasi prinsip *Recycle* telah tersedia. Namun, tidak ditemukannya bukti kegiatan pendaurulangan menunjukkan bahwa pengelolaan limbah masih berfokus pada tahap pemisahan dan pengendalian limbah. Sedangkan pada tahap pemanfaatan kembali material hasil limbah melalui proses *recycling* belum diterapkan secara optimal. Dari perspektif konstruksi berkelanjutan, kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kesiapan sistem pengelolaan limbah dan implementasi praktik daur ulang yang sebenarnya.

Dengan kata lain, proyek telah memiliki fondasi yang mendukung *recycling*, tetapi belum memanfaatkan potensi tersebut secara optimal. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa penerapan prinsip *Recycle* masih menjadi aspek yang paling rendah dibandingkan dengan prinsip *Reduce* dan *Reuse* yang telah diterapkan secara penuh pada proyek. Menurut Mohammed et al. (2020), penerapan prinsip *Recycle* pada sektor konstruksi memerlukan sistem pengelolaan limbah yang terintegrasi mulai dari pemilahan, pengumpulan, pengolahan, hingga pemanfaatan kembali material hasil daur ulang. Rendahnya tingkat penerapan *recycle* pada proyek ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan limbah masih berada pada tahap persiapan dan belum mencapai tahap pemanfaatan material hasil daur ulang secara optimal.

Integrasi Lean Construction dan Prinsip 3R

1. Hubungan *Lean Construction* dengan Prinsip *Reduce*

Hubungan antara indikator *Lean Construction* dan prinsip *Reduce* terlihat melalui mekanisme pengendalian pemborosan, peningkatan keandalan perencanaan, serta pengaturan aliran material. Penerapan *Waste Control & Reduction* melalui penggunaan *Waste Register*, pemantauan limbah, dan pengendalian *rework* memungkinkan sumber pemborosan material diidentifikasi sejak dini, sehingga kehilangan, kerusakan, dan pembuangan material dapat ditekan. Kondisi ini selaras dengan hasil evaluasi yang menunjukkan kecenderungan penurunan volume *waste material* selama pelaksanaan proyek. Selanjutnya, indikator *Planning & Continuous Improvement* memperkuat prinsip *Reduce* melalui perencanaan kebutuhan material yang lebih akurat dan pengelolaan kendala menggunakan *Constraint Log*, sehingga risiko perubahan pekerjaan dan pekerjaan ulang yang memicu pemborosan dapat diminimalkan. Sementara itu, penerapan *Flow Efficiency & Pull System* melalui *Pull Planning* membantu menyelaraskan

pendatangan material dengan kesiapan pekerjaan. Pengendalian volume material yang didatangkan agar tidak melebihi kebutuhan aktual menunjukkan upaya proyek dalam membatasi *excess inventory*, yang berpotensi mengalami kerusakan, kehilangan, atau berubah menjadi limbah konstruksi. Dengan demikian, ketiga indikator tersebut secara terintegrasi berkontribusi langsung terhadap pengurangan pemborosan material pada proyek..

2. Hubungan Lean Construction dengan Prinsip Reuse

Prinsip *Reuse* memperoleh tingkat penerapan sebesar 100%, yang menunjukkan bahwa pemanfaatan kembali material telah dilaksanakan secara optimal. Capaian tersebut didukung oleh praktik *Lean Construction* yang menekankan efisiensi penggunaan sumber daya, pengendalian aliran material, dan kolaborasi antarstakeholder. Melalui indikator *Waste Control & Reduction*, proses monitoring material memungkinkan proyek mengidentifikasi material yang masih layak pakai untuk digunakan kembali, sebagaimana terlihat pada penggunaan bekisting aluminium (*alform*) secara berulang selama pelaksanaan pekerjaan.

Indikator *Flow Efficiency & Pull System* juga memperkuat praktik *Reuse* melalui pengelolaan aliran dan ketersediaan material secara lebih terkendali. Hal ini tercermin pada praktik peminjaman material beton antarproyek, sehingga material yang tersedia dapat dimanfaatkan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengadaan baru. Selain itu, indikator *People Involvement* mendukung pertukaran informasi mengenai kebutuhan dan ketersediaan material melalui koordinasi antarstakeholder. Kolaborasi tersebut memungkinkan material yang masih memiliki nilai guna dialihkan dan dimanfaatkan kembali secara tepat, sehingga kebutuhan terhadap material baru, potensi pemborosan, dan biaya pengadaan dapat dikurangi..

3. Hubungan Lean Construction dengan Prinsip Recycle

Prinsip *Recycle* memperoleh tingkat penerapan sebesar 50%, sehingga menjadi aspek yang paling rendah dibandingkan dengan *Reduce* dan *Reuse*. Capaian tersebut menunjukkan bahwa praktik daur ulang material belum diterapkan secara optimal, meskipun beberapa indikator *Lean Construction* telah memberikan dukungan terhadap proses pengelolaan limbah. Indikator *Process Transparency* berkontribusi melalui keterbukaan informasi, dokumentasi, dan penggunaan media visual yang memungkinkan jenis serta volume limbah dipantau secara lebih sistematis selama pelaksanaan proyek. Dokumentasi tersebut menjadi dasar bagi proyek untuk mengidentifikasi limbah yang berpotensi dipilah, diolah, atau disalurkan untuk proses daur ulang. Selain itu, indikator *People Involvement* memperkuat penerapan *Recycle* melalui koordinasi antarstakeholder dalam kegiatan pemilahan limbah dan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun sesuai dengan prosedur yang berlaku. Namun, keterbatasan praktik pengolahan kembali material menunjukkan bahwa dukungan transparansi dan kolaborasi belum sepenuhnya diikuti oleh sistem daur ulang yang terstruktur. Dengan demikian, peningkatan penerapan *Recycle* memerlukan mekanisme pemilahan, pengolahan, dan penyaluran limbah yang lebih terintegrasi.

Tabel 4. Matriks Kontribusi Lean Construction dan 3R

INDIKATOR LEAN CONSTRUCTION	REDUCE	REUSE	RECYCLE	BUKTI AKTUAL PROYEK
waste control & reduction	sangat kuat	sedang	lemah	waste register, monitoring waste, pengendalian rework, tren waste menurun
planning & continuous improvement	kuat	lemah	lemah	lookahead planning, constraint log, identifikasi kendala sebelum pekerjaan
flow efficiency & pull system	sangat kuat	sedang	lemah	pull planning, pengendalian aliran material, pengaturan volume pendatangan
process transparency	sedang	lemah	sedang	dashboard progres, dokumentasi pekerjaan, papan pull planning, visual management
people involvement	sedang	kuat	sedang	rapat koordinasi, pendampingan subkontraktor, penyelesaian seluruh constraint
KONTRIBUSI DOMINAN	sangat tinggi	tinggi	rendah	

Tabel 5. Kriteria Interpretasi Matriks Kontribusi Lean Construction-3R

KRITERIAN INTERPRETASI MATRIKS	
TINGKAT HUBUNGAN	KRITERIA
sangat kuat	lean secara langsung menghasilkan penerapan prinsip 3R yang dapat dibuktikan dengan data proyek
kuat	lean berkontribusi signifikan terhadap penerapan prinsip 3R meskipun tidak menjadi satu - satunya faktor
sedang	lean berperan sebagai faktor pendukung
lemah	hubungan tidak langsung atau bukti implementasi terbatas

Berdasarkan matriks integrasi pada tabel di atas, terlihat bahwa kontribusi *Lean Construction* paling dominan terdapat pada prinsip *Reduce*. Hampir seluruh indikator *Lean Construction* memiliki hubungan dengan upaya pengurangan pemborosan material, terutama *Waste Control & Reduction*, *Planning & Continuous Improvement*, serta *Flow Efficiency & Pull System*. Temuan ini menunjukkan bahwa implementasi *Lean Construction* pada proyek lebih banyak berfungsi sebagai mekanisme pencegahan timbulnya limbah melalui peningkatan efisiensi penggunaan material, pengendalian pemborosan, serta perbaikan perencanaan dan aliran material.

Pada prinsip *Reuse*, kontribusi *Lean Construction* tergolong tinggi. Hubungan tersebut terlihat melalui penggunaan bekisting aluminium (alform) yang digunakan berulang kali serta praktik pemanfaatan material antarproyek. Implementasi tersebut didukung oleh pengendalian material, koordinasi antar-stakeholder, dan pengelolaan aliran material yang baik. Sebaliknya, kontribusi *Lean Construction* terhadap prinsip *Recycle* relatif lebih rendah dibandingkan dengan dua prinsip lainnya. Meskipun proyek telah menerapkan pemilahan limbah dan pengelolaan limbah B3, tidak ditemukan bukti kegiatan pendaurulangan limbah konstruksi secara aktual. Oleh karena itu, hubungan *Lean Construction* terhadap *Recycle* lebih banyak bersifat pendukung melalui transparansi informasi dan koordinasi pengelolaan limbah.

Secara keseluruhan, matriks integrasi menunjukkan bahwa *Lean Construction* pada proyek lebih berorientasi pada upaya pencegahan pemborosan dan pengurangan limbah sejak sumbernya (*upstream waste prevention*) dibandingkan dengan pengelolaan limbah setelah limbah terbentuk (*downstream waste management*). Pola ini tercermin dari tingginya penerapan prinsip *Reduce* dan *Reuse* dibandingkan dengan prinsip *Recycle*.

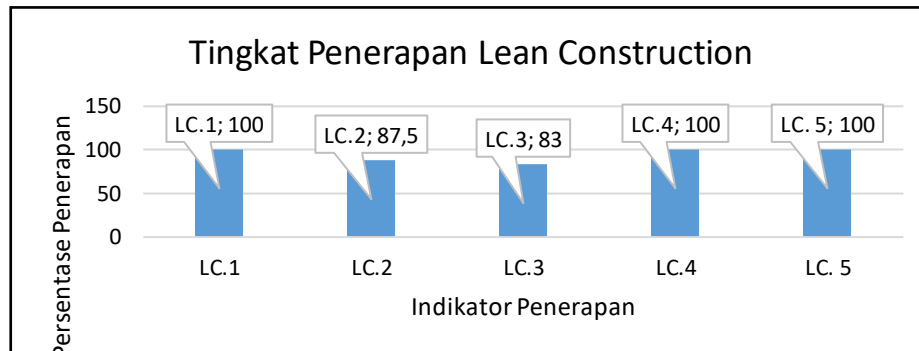
Berdasarkan hasil evaluasi, penelitian ini menghasilkan empat temuan utama. Pertama, *Lean Construction* berperan sebagai pendekatan pengelolaan material yang mendukung implementasi prinsip 3R pada proyek konstruksi. Kedua, kontribusi terbesar *Lean Construction* terlihat pada prinsip *Reduce*, terutama melalui pengendalian pemborosan, peningkatan keandalan perencanaan, dan pengaturan aliran material. Ketiga, penerapan *Reuse* didukung oleh kemampuan *Lean Construction* dalam mengidentifikasi, mengendalikan, dan mengoptimalkan pemanfaatan kembali sumber daya yang masih memiliki nilai guna. Keempat, penerapan *Lean Construction* pada proyek cenderung lebih berorientasi pada pencegahan timbunan limbah dibandingkan dengan pengolahan limbah setelah terbentuk. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peran utama *Lean Construction* dalam mendukung konstruksi berkelanjutan terletak pada upaya preventif untuk meminimalkan penggunaan material yang tidak efisien, mengurangi potensi limbah sejak tahap perencanaan dan pelaksanaan, serta memperpanjang nilai guna material melalui praktik penggunaan kembali..

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa *Lean Construction* berkontribusi secara signifikan terhadap implementasi prinsip 3R dalam pengelolaan material konstruksi. Kontribusi tersebut terlihat pada prinsip *Reduce* dan *Reuse* melalui pengendalian pemborosan material, peningkatan keandalan perencanaan, optimalisasi aliran material, dan pemanfaatan kembali material yang masih memiliki nilai guna. Sementara itu, kontribusi terhadap prinsip *Recycle* masih terbatas karena proyek belum menerapkan kegiatan pendaurulangan limbah konstruksi secara aktual.

Dengan demikian, implementasi *Lean Construction* pada proyek lebih berperan sebagai mekanisme pencegahan timbulnya limbah dibandingkan sebagai mekanisme pengolahan limbah

yang telah terbentuk, sehingga mendukung terciptanya pengelolaan material yang lebih efisien dan berkelanjutan. Temuan penelitian ini mendukung hasil kajian Hafiane et al. (2025) yang menyatakan bahwa integrasi Lean Construction dan Circular Economy melalui prinsip 3R mampu menciptakan sistem pengelolaan material yang lebih efisien dan berkelanjutan. Lean Construction berfungsi sebagai mekanisme pengendalian pemborosan dan peningkatan efisiensi proses, sedangkan prinsip 3R berperan dalam mengoptimalkan siklus penggunaan material sehingga keduanya saling melengkapi dalam mendukung keberlanjutan proyek konstruksi.

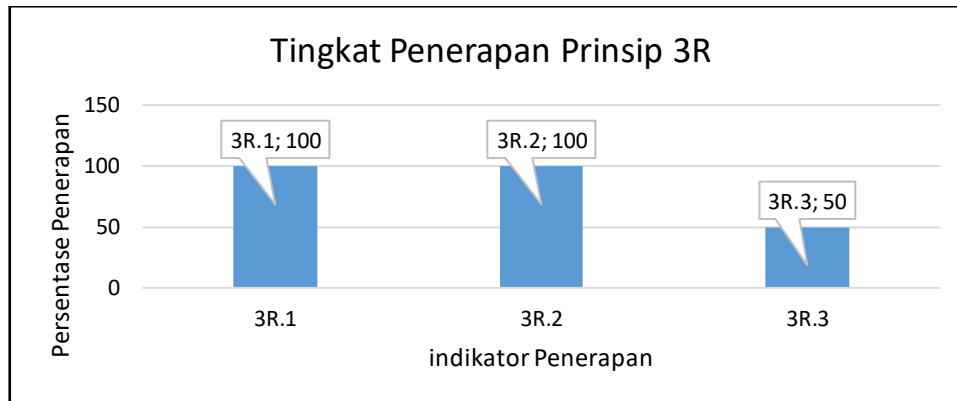
Tingkat Penerapan Lean Construction dan 3R



Gambar. 3 Tingkat Penerapan Lean Construction

Berdasarkan hasil evaluasi, diperoleh tingkat penerapan Lean Construction sebesar 93,75%, yang menunjukkan bahwa prinsip Lean Construction telah diterapkan pada kategori sangat tinggi dalam pengelolaan material konstruksi proyek. Temuan penelitian menunjukkan bahwa aspek *Waste Control and Reduction* merupakan praktik Lean yang paling kuat diterapkan, yang tercermin dari berbagai upaya pengendalian pemborosan material, pengurangan aktivitas yang tidak bernilai tambah, serta peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya. Selain itu, keterbukaan informasi dan kolaborasi antar-stakeholder menjadi faktor pendukung utama keberhasilan implementasi Lean Construction, karena memungkinkan koordinasi yang lebih efektif dalam proses perencanaan, pengadaan, dan pengelolaan material. Meskipun demikian, fungsi preventif Lean Construction belum sepenuhnya optimal, terutama dalam mengantisipasi potensi kendala yang dapat memengaruhi kelancaran aliran material dan pelaksanaan pekerjaan.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa Lean Construction telah diterapkan secara luas dan konsisten dalam pengelolaan material konstruksi pada proyek. Implementasi Lean tidak hanya terlihat pada pengendalian pemborosan material, tetapi juga pada sistem perencanaan kerja, pengelolaan aliran material, transparansi informasi, serta keterlibatan berbagai pihak yang terlibat dalam proyek. Namun demikian, masih terdapat peluang peningkatan pada aspek perencanaan jangka pendek (*lookahead planning*) dan sinkronisasi proses pengadaan material. Oleh karena itu, peningkatan kualitas *lookahead planning* serta optimalisasi penerapan *pull system* dalam proses pengadaan material dapat menjadi langkah strategis untuk meningkatkan efektivitas implementasi Lean Construction dan mendukung kinerja proyek yang lebih efisien di masa mendatang.



Gambar 4. Penerapan 3R

Berdasarkan hasil evaluasi implementasi prinsip 3R pada proyek, diperoleh tingkat penerapan keseluruhan sebesar 83%, yang menunjukkan bahwa pengelolaan material konstruksi telah menerapkan konsep 3R pada kategori tinggi. Temuan penelitian menunjukkan bahwa implementasi 3R pada proyek didominasi oleh penerapan prinsip *Reduce* dan *Reuse*, yang tercermin dari berbagai upaya pencegahan pemborosan material, pengendalian penggunaan sumber daya, serta pemanfaatan kembali material yang masih layak digunakan. Sebaliknya, prinsip *Recycle* merupakan aspek dengan tingkat penerapan terendah dibandingkan dengan dua prinsip lainnya. Penerapan *recycle* masih terbatas pada kegiatan pemilahan dan pengelolaan limbah, sehingga belum menunjukkan praktik daur ulang yang optimal pada material konstruksi yang telah menjadi limbah.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa strategi pengelolaan material yang diterapkan pada proyek lebih berorientasi pada pencegahan timbulnya limbah daripada pengolahan limbah yang telah terbentuk. Pendekatan tersebut sejalan dengan hierarki pengelolaan limbah yang menempatkan pengurangan limbah pada sumbernya sebagai prioritas utama. Dengan demikian, praktik pengelolaan material yang diterapkan telah mendukung tercapainya efisiensi penggunaan sumber daya dan tujuan konstruksi berkelanjutan. Meskipun demikian, masih terdapat peluang perbaikan pada aspek *Recycle* melalui peningkatan kegiatan pendaurulangan limbah konstruksi agar penerapan prinsip 3R dapat dilakukan secara lebih menyeluruh dan seimbang.

Implikasi terhadap Konstruksi Berkelanjutan

1. Implikasi terhadap Aspek Lingkungan (*Environmental Sustainability*)

Aspek lingkungan merupakan dimensi keberlanjutan yang paling nyata dipengaruhi oleh penerapan *Lean Construction* dan prinsip 3R. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa proyek telah menerapkan berbagai mekanisme pengurangan pemborosan material melalui indikator *Waste Control & Reduction*, *Reduce*, dan *Reuse*, yang seluruhnya memperoleh tingkat penerapan tinggi. Implementasi tersebut tercermin dalam pengendalian *excess material*, kecenderungan penurunan volume *waste material*, penggunaan bekisting aluminium yang dapat dipakai berulang kali, pemanfaatan kembali material antarproyek, serta pemilahan limbah berdasarkan jenisnya. Rangkaian praktik tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan material pada proyek tidak hanya berorientasi pada efisiensi penggunaan sumber daya, tetapi juga pada pencegahan timbulnya limbah sejak tahap pengadaan hingga pelaksanaan pekerjaan. Dengan demikian, integrasi *Lean Construction* dan prinsip 3R memberikan kontribusi langsung terhadap pengurangan konsumsi material baru, penurunan beban limbah konstruksi, dan peningkatan efisiensi lingkungan proyek.

Praktik-praktik tersebut berkontribusi terhadap pengurangan konsumsi sumber daya alam serta penurunan volume limbah konstruksi yang dihasilkan selama pelaksanaan proyek. Dari perspektif keberlanjutan lingkungan, kondisi tersebut menunjukkan bahwa proyek telah menerapkan strategi pengelolaan material yang berorientasi pada pencegahan limbah sejak sumbernya. Pendekatan ini sejalan dengan konsep sustainable material management yang menekankan efisiensi penggunaan sumber daya dan minimisasi dampak lingkungan.

2. Implikasi terhadap Aspek Ekonomi (*Economic Sustainability*)

Penerapan *Lean Construction* dan prinsip 3R memberikan implikasi positif terhadap efisiensi ekonomi proyek melalui pengendalian penggunaan material dan pencegahan biaya akibat pemborosan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa proyek menerapkan pengendalian material secara sistematis melalui pemantauan *waste*, pembatasan volume pendatangan material, penerapan *pull planning*, pengelolaan aliran material, dan pengurangan *rework*. Pemantauan *waste* membantu proyek mengidentifikasi sumber kehilangan dan penggunaan material yang tidak efisien, sedangkan pengendalian pendatangan material memungkinkan persediaan disesuaikan dengan kebutuhan aktual pekerjaan. Penerapan *pull planning* dan pengelolaan aliran material juga mengurangi risiko kelebihan persediaan, kerusakan material, biaya penyimpanan, serta keterlambatan distribusi. Sementara itu, pengurangan *rework* menekan tambahan biaya tenaga kerja, material, peralatan, dan waktu pelaksanaan. Dengan demikian, integrasi *Lean Construction* dan prinsip 3R meningkatkan efisiensi biaya melalui optimalisasi penggunaan sumber daya, pengurangan pembelian material yang tidak diperlukan, dan pencegahan biaya yang tidak memberikan nilai tambah bagi proyek..

Praktik pengendalian material tersebut berpotensi menekan berbagai komponen biaya yang tidak memberikan nilai tambah bagi proyek, terutama biaya akibat pembelian material secara berlebihan, kehilangan dan kerusakan material, pekerjaan ulang, serta penanganan limbah. Pengendalian kebutuhan dan aliran material membantu proyek menghindari pengadaan yang melebihi kebutuhan aktual, sementara monitoring yang konsisten dapat mengurangi risiko kehilangan maupun kerusakan selama penyimpanan dan distribusi. Selain itu, pencegahan *rework* menekan tambahan biaya tenaga kerja, peralatan, material, dan waktu pelaksanaan. Berkurangnya volume limbah juga dapat menurunkan biaya pemilahan, pengangkutan, penyimpanan sementara, dan pembuangan. Dengan demikian, penerapan *Lean Construction* dan prinsip 3R tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, tetapi juga memperkuat pengendalian biaya proyek secara menyeluruh..

Selain itu, penggunaan bekisting aluminium dan pemanfaatan kembali material antarproyek juga memungkinkan pengurangan kebutuhan pengadaan material baru. Meskipun penelitian ini tidak melakukan analisis finansial secara langsung, temuan tersebut menunjukkan bahwa penerapan *Lean Construction* dan prinsip 3R berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya proyek sehingga mendukung keberlanjutan ekonomi.

3. Implikasi terhadap Aspek Sosial (*Social Sustainability*)

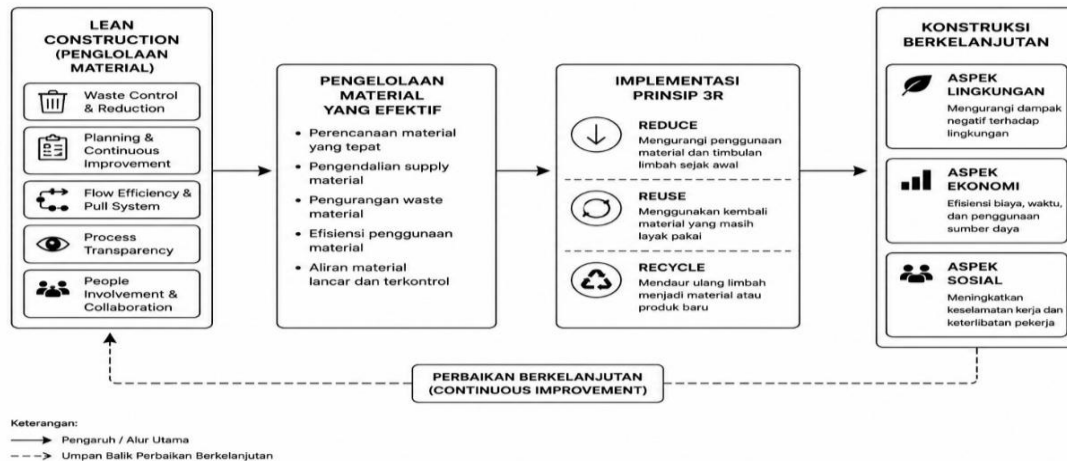
Selain memberikan manfaat lingkungan dan ekonomi, penerapan *Lean Construction* juga berimplikasi positif terhadap dimensi sosial konstruksi berkelanjutan. Hal ini tercermin dari capaian indikator *Process Transparency* dan *People Involvement* yang masing-masing memperoleh tingkat penerapan sebesar 100%. Implementasi kedua indikator tersebut ditunjukkan melalui pelaksanaan rapat koordinasi secara rutin, keterlibatan aktif stakeholder dalam penerapan *Last Planner System*, pendampingan terhadap subkontraktor, penyelesaian seluruh kendala yang terdokumentasi dalam *Constraint Log*, serta pemanfaatan media visual untuk memperkuat komunikasi proyek. Praktik-praktik tersebut meningkatkan keterbukaan informasi, kejelasan tanggung jawab, kolaborasi antarpihak, dan kecepatan penyelesaian masalah selama pelaksanaan pekerjaan. Dengan demikian, *Lean Construction* tidak hanya mendukung efisiensi teknis, tetapi juga memperkuat partisipasi, koordinasi, dan kualitas hubungan kerja antarstakeholder sebagai unsur penting dalam pencapaian konstruksi berkelanjutan.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proyek telah membangun lingkungan kerja yang lebih kolaboratif dan transparan. Dalam perspektif konstruksi berkelanjutan, peningkatan komunikasi, keterlibatan stakeholder, dan transparansi informasi merupakan faktor penting yang mendukung efektivitas pengambilan keputusan serta keberhasilan pelaksanaan proyek dalam jangka panjang. Konstruksi berkelanjutan merupakan pendekatan pembangunan yang menyeimbangkan aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial sepanjang siklus hidup proyek. Menurut Tafazzoli dan Mousavi (2020), integrasi konsep Green Construction dan Lean Construction mampu meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi dampak lingkungan, serta memperkuat kolaborasi antarpemangku kepentingan. Oleh karena itu, penerapan Lean Construction dan prinsip 3R dalam

penelitian ini dapat dianalisis berdasarkan kontribusinya terhadap ketiga dimensi keberlanjutan tersebut.

Model Konseptual Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil evaluasi penerapan lean construction, prinsip 3R, analisis keterkaitan lean construction dan 3R, serta implikasinya terhadap konstruksi berkelanjutan, disusun model konseptual hasil penelitian sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 5. Model konseptual hasil penelitian

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Lean Construction pada pengelolaan material Proyek Pembangunan Gedung Parkir dan Fasilitasnya (Tower B) RSK Dharmais telah berjalan dengan sangat baik, dengan tingkat penerapan mencapai 93,75%. Sementara itu, penerapan prinsip 3R juga berada pada kategori sangat tinggi dengan tingkat penerapan sebesar 83%, yang didominasi oleh implementasi prinsip *reduce* dan *reuse*, sedangkan prinsip *recycle* masih belum optimal. Hasil penelitian membuktikan bahwa Lean Construction berperan penting dalam mendukung implementasi prinsip 3R, terutama melalui pengendalian pemborosan material, peningkatan efektivitas perencanaan, optimalisasi aliran material, dan keterlibatan para pemangku kepentingan. Integrasi Lean Construction dan prinsip 3R memberikan kontribusi positif terhadap pencapaian konstruksi berkelanjutan, baik dari aspek lingkungan melalui pengurangan limbah dan efisiensi sumber daya, aspek ekonomi melalui peningkatan efisiensi biaya dan material, maupun aspek sosial melalui peningkatan koordinasi dan kolaborasi antarpihak proyek. Dengan demikian, Lean Construction dapat menjadi pendekatan strategis dalam mewujudkan sistem pengelolaan material yang lebih efisien, minim limbah, dan berorientasi pada keberlanjutan.

Untuk meningkatkan efektivitas penerapan Lean Construction dan prinsip 3R, proyek disarankan untuk memperkuat kualitas *lookahead planning*, meningkatkan sinkronisasi antara kebutuhan dan pengadaan material, serta mengembangkan program daur ulang limbah konstruksi secara lebih nyata melalui kerja sama dengan pihak terkait. Perusahaan konstruksi juga perlu mengintegrasikan Lean Construction dan prinsip 3R ke dalam standar operasional pengelolaan material serta mengembangkan sistem monitoring yang lebih terintegrasi guna mendukung efisiensi dan keberlanjutan proyek. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengukur dampak kuantitatif penerapan Lean Construction dan 3R terhadap pengurangan limbah, efisiensi biaya, dan produktivitas proyek, menggunakan objek penelitian yang lebih beragam, serta mengembangkan model hubungan antara Lean Construction, prinsip 3R, dan konstruksi berkelanjutan agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai keterkaitan antarvariabel tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, data, arahan, dan bantuan selama pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada pihak

Proyek Pembangunan Gedung Parkir dan Fasilitasnya (Tower B) RSK Dharmais. Dukungan dan kerja sama yang diberikan sangat berperan dalam kelancaran serta penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anerao, S. D., & Deshmukh, S. S. (2016). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 1703–1707.
- Anggraini, W. (2022). *Penerapan Konstruksi Lean untuk Menghilangkan Pemborosan : Studi Kasus Proyek Konstruksi di Indonesia*. 23(1), 1–16.
- Anggraini, W., Siska, M., & Novitri, D. (2022). *Implementation of Lean Construction to Eliminate Waste : A Case Study Construction Project in Indonesia*. 23(1), 1–16.
- Bigwanto, A., Widayati, N., Wibowo, M. A., & Sari, E. M. (2024). *Lean Construction : A Sustainability Operation for Government Projects*. 1–16.
- Hafiane, A. El, En-nadi, A., & Ramadany, M. (2025). *Towards Sustainable Construction : Systematic Review of Lean and Circular Economy Integration*. 1–42.
- Hidayaha, F. N., & Wimala, M. (2024). *Lessons Learned from Systematic Review for Circular Economy Adoption in the Indonesian Construction Industry*. 18(3). <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2024.018.03.9>
- Intan, S., Alifen, R. S., & Arjianto, L. (2007). *Analisa Dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi* : 7(1), 36–45.
- Irianto, R., Allo, G., & Bhaskara, A. (2022). *Analisis Waste Material Dengan Penerapan Lean Construction*. 18, 343–355.
- Irmawaty, Hamzah, S., & Abdurrahman, M. A. (2025). *Green Lean Construction : Sinkronisasi Antara Efisiensi Dan*. 110–117.
- Istiqomah, N., Mafruhah, I., & Gravitiani, E. (2020). *Konsep Reduce , Reuse , Recycle dan Replace dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Desa Polanharjo Kabupaten Klaten*. 8(2), 30–38.
- Jayanetti, J. K. D. D. T., Perera, B. A. K. S., Waidyasekara, K. G. A. S., & Siriwardena, M. (2023). *Critical Analysis of Lean Construction Maturity Models* :
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction* An exploration towards a production theory and.
- Kustiani, I., Widyawati, R., & Warena, R. D. (2020). *Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri Analisis Pengelolaan Limbah Konstruksi dengan Skema Stepwise Incentive System dalam Rangka Penerapan Lean Construction pada Proyek Konstruksi di Lingkungan Universitas Lampung*. 3.
- Lautania, M. F., Kadri, M., Ah, D. S., Ekonomi, F., Kuala, U. S., & Aceh, B. (2024). *Pengelolaan Sampah Melalui Konsep 3R (Reduce , Reuse , Recycle) di Pesantren Modern Al-Manar*. 4, 207–214.
- Lenkiewicz, Z. (2024). *Beyond an Age of Waste* (D. R. Amanda Lawrence Brown & J. Smith (eds.)). UNEP's core financial fund. <https://doi.org/https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939>
- Lestari, P. O., Uda, S. A. K. A., & Nuswantoro, W. (2022). *Identifikasi Penanganan Waste Material berdasarkan Pandangan Kontraktor dan Konsultan di Kota Palangka Raya*. VII(3), 3271–3277.
- Liman, K., Studi, P., Teknik, S., Tarumanagara, U., Studi, P., Teknik, S., & Tarumanagara, U. (2020). *Waste Material Beton Pada Proyek Konstruksi Di Jakarta*. 3(1), 183–190.
- Luh, N., Resi, K., & Darmastuti, P. A. (2023). *Penerapan Konsep 3r (Reduce-Reuse-Recycle) Untuk Material*. 3(2), 95–104.
- M Mohammed, N Shafiq, N A W Abdallah, M. A. dan A. H. 1. (n.d.). *A review on achieving sustainable construction waste management through application of 3R (reduction , reuse , recycling) : A lifecycle approach A review on achieving sustainable construction waste management through application of 3R (reduction , reuse*. <https://doi.org/10.1088/1755->

1315/476/1/012010

- Mohammed, M., Shafiq, N., Elmansoury, A., Al-mekhlafi, A. A., Rached, E. F., Zawawi, N. A., Haruna, A., Darda, A., & Ibrahim, M. B. (2021). *Modeling of 3R (Reduce, Reuse and Recycle) for Sustainable Construction Waste Reduction : A Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. 1–22.
- Mustari, K., Budidaya, J., Program, P., Agroteknologi, S., Pertanian, F., Hasanuddin, U., Bangkala, K., & Manggala, K. (2015). *Penerapan Prinsip 3r (Reduce, Reuse Dan Recycle) Dalam Pengelolaan Sampah Melalui Pembuatan*. 24–37.
- Nursin, A., Latief, Y., & Abidin, I. (2014). *Pertumbuhan Barang Sisa Konstruksi (Construction Waste) Di Indonesia*. 13(1).
- Ostadnorouzi, O., Aminnejad, B., & Lork, A. (2025). *Development of a Construction Waste Management Model Based on Design and Execution Decisions with a Reduce, Reuse, and Recycle (3R) Approach: A Case Study in Sanandaj Using Fuzzy Analytic Network Process (FANP)*. June, 1–9.
- Prisilia, H., & Purnomo, D. A. (2025). *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*. 9(2), 1002–1009.
- Tafazzoli, M., & Mousavi, E. (2020). *Opportunities and Challenges of Green-Lean : An Integrated System for Sustainable Construction*. 1–12.
- Zulaida, C. P., Yuwono, B. E., Fakultas, M., Program, T., Teknik, S., Universitas, S., Fakultas, D., Program, T., Teknik, S., & Universitas, S. (2019). *Analisis Pengelolaan Limbah Konstruksi dengan Metode Lean Constuction Analysis of Construction Waste Management using the Lean Constuction Method Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Trisakti*. September, 15–19.