DIMENSI, Volume 15 Nomor 2 : 810-818
JULI 2026
ISSN: 2085-9996
https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/jurnaldms

Analisis Pengolahan Limbah Konstruksi Menggunakan Metode Lean Construction Pada Proyek Pembangunan Factory Block D07 & D08 Di Kawasan Panbil

Analysis of Construction Waste Processing Using the Lean Construction Method in the Factory Block D07 & D08 Construction Project in the Panbil Area

Imam Setiyohadi[1*], Aldi Afrian Danu[2], Harry Kurniawan[3], Edi Kusmawan[4], Abraham Jeruansal Rahman[5], Nadia Khaira Ardi[6], Whida Elastu Permana[7], Teddy Tambunan[8], Aria Alhadi[9], Zures Gustiabani[10]
[1-10]Fakultas Teknik, Universitas Riau Kepulauan, Batam, Indonesia
E-mail: imam@gmail.com

Abstrak

Industri konstruksi menghasilkan limbah material yang dapat menurunkan efisiensi proyek apabila tidak dikendalikan sejak tahap perencanaan sampai pelaksanaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis limbah konstruksi, menentukan material yang menghasilkan waste paling tinggi, mengidentifikasi faktor penyebab waste, serta merumuskan pengelolaan limbah berbasis Lean Construction pada Proyek Pembangunan Factory Block D07 & D08 di Kawasan Panbil, Batam. Penelitian menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Data diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara dengan pihak proyek, dan studi dokumen mengenai material yang direncanakan, dibeli, dan digunakan. Waste level dihitung berdasarkan perbandingan volume material terbeli atau direncanakan dengan volume material yang terpakai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material konstruksi memiliki tingkat waste yang berbeda. Material Baja WF 300 × 150 × 6,6 × 9 mempunyai waste level tertinggi sebesar 2,8%, sedangkan CNP 125 × 66 × 20 × 3 mempunyai waste level 0%. Pemborosan material terutama berkaitan dengan proses pemotongan dan fabrikasi baja, perubahan pekerjaan, pemesanan material yang melebihi kebutuhan, perpindahan material yang berulang, serta waktu tunggu akibat koordinasi dan instruksi pekerjaan. Hasil wawancara menunjukkan lima faktor waste yang menonjol, yaitu overproduction, overprocessing, transportation, waiting, dan motion. Faktor overprocessing menjadi faktor terbesar berdasarkan pembobotan wawancara, sedangkan defect dan inventory tidak teridentifikasi sebagai faktor dominan. Penerapan 5S, Material Control, Just in Time, Daily Monitoring, dan Last Planner System direkomendasikan untuk memperkuat pengendalian material dan aliran pekerjaan. Penelitian ini menunjukkan bahwa Lean Construction dapat menjadi pendekatan praktis untuk menekan pemborosan material dan meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek konstruksi.

Kata Kunci: Limbah Konstruksi; *Waste Level; Lean Construction; Waste Material*; Proyek *Factory*

Abstract

The construction industry generates material waste that can reduce project efficiency when it is not controlled from planning through execution. This study aims to identify construction waste, determine the material with the highest waste level, identify the causes of waste, and formulate Lean Construction-based waste management for the Factory Block D07 & D08 Construction

DIMENSI, Volume 15 Nomor 2 : 810-818
JULI 2026
ISSN: 2085-9996
https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/jurnaldms

Project in Panbil, Batam. The study used a descriptive method with a qualitative approach. Data were collected through field observations, interviews with project personnel, and project document reviews concerning planned, purchased, and used materials. Waste level was calculated by comparing the volume of purchased or planned materials with the volume actually used. The results show that construction materials generated different levels of waste. WF 300 × 150 × 6.6 × 9 steel had the highest waste level at 2.8%, while CNP 125 × 66 × 20 × 3 had a waste level of 0%. Material waste was mainly associated with steel cutting and fabrication, work changes, material ordering beyond requirements, repeated material movement, and waiting time caused by coordination and work instructions. Interviews identified five prominent waste factors: overproduction, overprocessing, transportation, waiting, and motion. Overprocessing was the largest factor based on the interview weighting, while defects and inventory were not identified as dominant factors. The study recommends the application of 5S, Material Control, Just in Time, Daily Monitoring, and the Last Planner System to strengthen material control and workflow. The findings indicate that Lean Construction can provide a practical approach to reducing material waste and improving construction project efficiency.

Keywords: *Construction Waste; Waste Level; Lean Construction; Material Waste; Factory Project*

Pendahuluan

Industri konstruksi mempunyai karakteristik penggunaan sumber daya yang besar, melibatkan banyak pihak, dan berlangsung dalam kondisi lapangan yang dinamis. Material menjadi salah satu sumber daya utama yang menentukan keberhasilan proyek dari sisi biaya, waktu, dan mutu. Pada saat yang sama, penggunaan material dalam jumlah besar berpotensi menghasilkan sisa material, material rusak, pekerjaan ulang, serta aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah. Kondisi tersebut menjadi persoalan manajerial karena pemborosan material tidak hanya berkaitan dengan volume bahan yang tersisa, tetapi juga dengan aktivitas pemindahan, penyimpanan, pemotongan, penyesuaian, pemeriksaan, dan pekerjaan ulang yang menyertai proses konstruksi.

Dalam penelitian ini, limbah konstruksi dipahami sebagai material yang tidak termanfaatkan secara optimal selama proses pembangunan. Limbah dapat muncul sejak tahap pra-konstruksi akibat kesalahan spesifikasi, perubahan desain, dan pemilihan material; selama konstruksi melalui sisa pemotongan, kerusakan, kemasan, dan pekerjaan ulang; maupun setelah konstruksi ketika material tidak dapat digunakan kembali. Perspektif tersebut sejalan dengan Jin, Yuan, dan Chen (2019) yang menempatkan pengelolaan limbah konstruksi sebagai bidang yang membutuhkan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi sumber pemborosan dan strategi pengurangannya.

Permasalahan waste menjadi semakin penting pada proyek pembangunan gedung industri karena proyek membutuhkan material struktur dan komponen fabrikasi dalam jumlah besar. Proyek Factory Block D07 & D08 di Kawasan Panbil merupakan proyek dengan penggunaan material yang beragam, termasuk beton, besi beton, pelat baja, hollow, baja WF, CNP, dan material atap. Kondisi tersebut memberikan peluang terjadinya pemborosan akibat pemotongan, penyesuaian dimensi, perubahan pekerjaan, serta pengelolaan material di lokasi proyek.

DIMENSI, Volume 15 Nomor 2 : 810-818
JULI 2026
ISSN: 2085-9996
https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/jurnaldms

Pendekatan Lean Construction relevan digunakan untuk menangani persoalan tersebut. Lean Construction mengadaptasi prinsip lean dari manufaktur ke lingkungan proyek konstruksi dengan menekankan penciptaan nilai, pengurangan aktivitas tidak bernilai tambah, kelancaran aliran pekerjaan, pengendalian proses, dan perbaikan berkelanjutan. Ballard dan Howell (2019) menekankan pentingnya pengelolaan proses proyek secara terpadu agar aktivitas yang tidak memberikan nilai dapat dikurangi. Dalam konteks pengadaan dan penyimpanan material, Ajayi et al. (2019) menunjukkan bahwa prinsip lean dapat digunakan untuk mengoptimalkan pengadaan dan penyimpanan sehingga pemborosan material dapat dikendalikan.

Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa lean construction dapat diterapkan pada berbagai jenis proyek. Anggraini et al. (2022) mengidentifikasi aktivitas non-value added pada proyek konstruksi di Indonesia, sedangkan Prisilia dan Purnomo (2023) menunjukkan bahwa sisa dan kerusakan material merupakan bentuk waste yang penting untuk dikendalikan. Bajjou et al. (2023) secara khusus menunjukkan relevansi prinsip lean pada proyek industri melalui pemetaan aliran material, pengendalian inventory, dan penerapan sistem pull serta Just in Time.

Meskipun demikian, karakteristik setiap proyek menyebabkan jenis dan sumber waste tidak selalu sama. Bahtiar (2020), misalnya, menemukan waiting dan pekerjaan ulang sebagai waste yang menonjol pada proyek jalan tol. Pada proyek factory yang menjadi objek penelitian ini, karakteristik pekerjaan struktur baja dan proses fabrikasi memberikan konteks berbeda. Oleh sebab itu, penelitian lapangan diperlukan untuk mengetahui material yang paling banyak menghasilkan waste dan faktor operasional yang menjadi penyebabnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi jenis material yang menghasilkan waste pada Proyek Pembangunan Factory Block D07 & D08 di Kawasan Panbil; (2) menentukan material dengan waste level tertinggi dan terendah; (3) mengidentifikasi faktor penyebab waste berdasarkan observasi dan wawancara; dan (4) menganalisis penerapan prinsip Lean Construction sebagai strategi pengurangan waste material. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi praktis bagi pengelola proyek dalam memperkuat pengendalian material dan menjadi referensi bagi penelitian sejenis.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Pendekatan dipilih karena penelitian tidak hanya menghitung waste material, tetapi juga berupaya memahami proses dan kondisi lapangan yang menyebabkan terjadinya pemborosan. Lokasi penelitian adalah Proyek Pembangunan Factory Block D07 & D08 di Kawasan Panbil Industrial Estate, Kota Batam, Kepulauan Riau. Penelitian dilakukan pada masa pelaksanaan proyek dengan pengambilan data selama kurang lebih enam bulan dari jadwal proyek yang direncanakan delapan bulan.

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lokasi proyek dan wawancara dengan pihak yang terlibat dalam pelaksanaan pekerjaan. Narasumber terdiri atas Project Manager, Admin Project, Supervisor, dan dua orang Mandor. Data sekunder diperoleh dari dokumen proyek, terutama data material yang direncanakan atau dibeli dan material yang digunakan di lapangan. Struktur pengumpulan data tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran kuantitatif mengenai waste sekaligus penjelasan kualitatif mengenai penyebabnya.

Material yang diamati meliputi 20 jenis material, yaitu Concrete K-300 Ready-mix, Concrete K-175 Ready-mix, Besi Beton Ø20, Ø16, Ø10, dan Ø8, Plat Besi 25 mm, 16 mm, 12

DIMENSI, Volume 15 Nomor 2 : 810-818
JULI 2026
ISSN: 2085-9996
https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/jurnaldms

mm, dan 10 mm, Hollow SHS 4 × 4 dan 2 × 2, Baja WF 600 × 200 × 12 × 20, Baja WF 450 × 200 × 9 × 14, Baja WF 400 × 200 × 8 × 13, Baja WF 300 × 150 × 6,6 × 9, Baja WF 250 × 125 × 5 × 8, CNP 200 × 75 × 20 × 3,2, CNP 125 × 66 × 20 × 3, serta Metal Roof 0,45 mm + ISOFLEX Premium A8. Material-material tersebut digunakan pada berbagai elemen seperti pondasi, ground beam, kolom, balok, rangka talang, purlin, dan atap.

Perhitungan volume waste dilakukan dengan membandingkan volume material terbeli atau direncanakan dengan volume material yang terpakai. Secara sederhana, volume waste dihitung dengan persamaan: Volume Waste = Volume Terbeli/Rencana − Volume Terpakai. Waste level kemudian dihitung sebagai persentase volume waste terhadap volume terbeli atau volume rencana: Waste Level (%) = (Volume Waste / Volume Terbeli atau Rencana) × 100%. Perhitungan ini mengikuti batasan penelitian, yaitu tidak memasukkan perhitungan nilai kerugian biaya dan hanya menggunakan perbandingan volume material.

Analisis penyebab waste dilakukan melalui observasi dan wawancara. Faktor waste yang digunakan mengacu pada kategori lean construction yang relevan dengan kondisi lapangan, yaitu overproduction, overprocessing, transportation, waiting, motion, inventory, dan defects. Hasil wawancara kemudian dirangkum berdasarkan jumlah poin pada setiap kategori dan dihitung bobot kumulatifnya dengan membandingkan total poin faktor terhadap total poin keseluruhan. Pendekatan ini digunakan untuk menentukan faktor yang paling menonjol menurut narasumber.

Analisis berikutnya dilakukan secara interpretatif dengan menghubungkan temuan lapangan dengan prinsip Lean Construction. Strategi yang dibahas meliputi 5S untuk penataan area dan material, Material Control untuk pengendalian penggunaan bahan, Just in Time untuk mengurangi kelebihan persediaan, Daily Monitoring untuk mendeteksi penyimpangan secara dini, dan Last Planner System untuk meningkatkan koordinasi serta keandalan rencana kerja.

Hasil dan Pembahasan

Gambaran Material dan Kondisi Waste

Hasil pengumpulan data menunjukkan bahwa proyek menggunakan material struktur dan arsitektural dalam jumlah cukup besar. Dari 20 material yang dianalisis, seluruh material memiliki tingkat waste yang berbeda, kecuali CNP 125 × 66 × 20 × 3 yang tercatat memiliki waste level 0%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa efisiensi material tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan, tetapi juga oleh pola pemakaian, dimensi material, kebutuhan pemotongan, metode fabrikasi, serta kemampuan proyek dalam menyesuaikan kebutuhan aktual dengan material yang tersedia.

Data volume waste menunjukkan variasi yang cukup besar antar material. Baja WF 600 × 200 × 12 × 20 memiliki volume waste 793,50 kg, Baja WF 300 × 150 × 6,6 × 9 sebesar 295,31 kg, Baja WF 250 × 125 × 5 × 8 sebesar 243,65 kg, dan Baja WF 450 × 200 × 9 × 14 sebesar 180,12 kg. Volume tersebut menunjukkan bahwa material dengan ukuran dan volume pemakaian besar dapat menghasilkan sisa material dalam jumlah absolut yang besar, walaupun persentase waste level tidak selalu menjadi yang tertinggi.

Perbedaan antara volume waste dan waste level penting diperhatikan dalam pengendalian proyek. Volume waste menunjukkan besarnya material yang tersisa secara absolut, sedangkan waste level menunjukkan tingkat pemborosan relatif terhadap material yang direncanakan atau dibeli. Dengan demikian, manajemen proyek sebaiknya menggunakan kedua indikator tersebut secara bersamaan agar keputusan pengendalian tidak hanya berfokus pada persentase tetapi juga mempertimbangkan besarnya material yang hilang atau tidak termanfaatkan.

DIMENSI, Volume 15 Nomor 2 : 810-818
JULI 2026
ISSN: 2085-9996
https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/jurnaldms

Waste Level Material

Berdasarkan hasil perhitungan waste level, Baja WF 300 × 150 × 6,6 × 9 merupakan material dengan waste level tertinggi, yaitu sekitar 2,8%. Material berikutnya yang memiliki waste level relatif tinggi adalah Plat Besi 12 mm dan Baja WF 250 × 125 × 5 × 8. Sebaliknya, CNP 125 × 66 × 20 × 3 mempunyai waste level 0%, yang menunjukkan bahwa material tersebut dapat digunakan secara efisien sesuai kebutuhan yang tercatat dalam dokumen proyek.

Tingginya waste level pada Baja WF 300 × 150 × 6,6 × 9 dapat dikaitkan dengan karakteristik penggunaan material baja profil. Baja WF harus dipotong dan disesuaikan dengan dimensi elemen struktur berdasarkan gambar kerja. Apabila perencanaan pola potong tidak optimal, sisa potongan akan terbentuk dan tidak selalu dapat digunakan kembali. Temuan ini sejalan dengan Prisilia dan Purnomo (2023) yang menempatkan sisa pemotongan dan kerusakan material sebagai sumber penting waste pada proyek konstruksi.

Kondisi tersebut juga mendukung temuan Ilo dan Bhaskara (2022) bahwa pengendalian material yang kurang optimal dapat menyebabkan munculnya sisa material dan pekerjaan ulang. Pada proyek factory, proses fabrikasi baja menjadi perhatian khusus karena material memiliki nilai dan ukuran yang relatif besar. Oleh karena itu, pengendalian waste perlu dimulai sebelum material tiba di lokasi, terutama melalui perencanaan kebutuhan dan pola pemotongan.

Temuan waste level 0% pada CNP 125 × 66 × 20 × 3 menunjukkan bahwa pengendalian material dapat berlangsung efisien ketika kebutuhan dan pemakaian relatif sesuai. Kondisi ini dapat dijadikan pembelajaran internal untuk material lain, yaitu dengan memperbaiki akurasi estimasi kebutuhan, koordinasi antara gambar kerja dan kondisi lapangan, serta pencatatan penggunaan material secara rutin.

Faktor Penyebab Waste

Hasil observasi dan wawancara menunjukkan lima faktor utama yang muncul dalam proses pelaksanaan, yaitu overproduction, overprocessing, transportation, waiting, dan motion. Overproduction terjadi ketika produksi atau pemesanan material melebihi kebutuhan aktual atau ketika pekerjaan dilakukan melebihi volume yang direncanakan. Overprocessing muncul karena pekerjaan dilakukan berulang, termasuk pengukuran, pemotongan, penyesuaian, pemeriksaan, dan pengerjaan ulang yang tidak memberikan nilai tambah.

Transportation berkaitan dengan perpindahan material atau alat yang dilakukan berulang atau melalui rute yang kurang efisien. Waiting terjadi ketika pekerja, alat, atau material menunggu instruksi, ketersediaan material, lokasi kerja, atau proses lain yang belum selesai. Motion berkaitan dengan pergerakan pekerja dan alat yang tidak efisien, termasuk perjalanan pekerja untuk mengambil material atau alat dan manuver alat berat yang berlebihan.

Berdasarkan pembobotan wawancara, overprocessing tercatat sebagai faktor terbesar dengan persentase 9,95%. Temuan ini menunjukkan bahwa sumber pemborosan bukan hanya material yang tersisa secara fisik, tetapi juga proses yang dilakukan berulang. Pengukuran, pemotongan, penyesuaian, pemeriksaan, dan pekerjaan yang harus diulang dapat meningkatkan penggunaan waktu dan sumber daya sekaligus berpotensi menghasilkan sisa material.

Defect dan inventory tidak muncul sebagai faktor dominan dalam hasil pengelompokan penelitian. Temuan tersebut tidak berarti bahwa kedua jenis waste sama sekali tidak mungkin terjadi, tetapi menunjukkan bahwa berdasarkan data wawancara yang dikumpulkan, keduanya tidak menjadi sumber utama yang teridentifikasi pada objek penelitian. Interpretasi tersebut perlu

dipertahankan sesuai konteks penelitian dan tidak digeneralisasikan kepada seluruh proyek konstruksi.

Jika dibandingkan dengan penelitian Bahtiar (2020), terdapat perbedaan karakteristik waste. Pada proyek jalan tol yang diteliti Bahtiar, waiting dan pekerjaan ulang menjadi waste yang menonjol. Pada proyek factory dalam penelitian ini, pemborosan lebih berkaitan dengan material baja dan proses pemotongan serta aktivitas pemrosesan. Perbedaan tersebut dapat dipahami karena jenis pekerjaan, aliran material, metode pelaksanaan, dan karakteristik proyek berbeda.

Penerapan Lean Construction untuk Mengurangi Waste

Lean Construction memberikan kerangka untuk mengubah pengelolaan waste dari pendekatan reaktif menjadi preventif. Dalam pendekatan reaktif, sisa material baru ditangani setelah muncul. Sebaliknya, Lean Construction mendorong identifikasi sumber pemborosan sejak perencanaan, pengendalian aliran pekerjaan, dan perbaikan proses secara berkelanjutan. Bajjou et al. (2023) menekankan pentingnya identifikasi waste melalui pemetaan proses dan pengendalian aliran material.

Pertama, penerapan 5S dapat digunakan untuk memperbaiki penataan lokasi kerja dan material. Material yang diletakkan pada area yang jelas, diberi identitas, dan dipisahkan berdasarkan jenis serta kebutuhan pekerjaan akan mengurangi waktu pencarian dan perpindahan yang tidak perlu. 5S juga membantu menjaga kondisi material agar tidak mudah rusak akibat penempatan yang tidak sesuai.

Kedua, Material Control perlu diperkuat. Pengendalian tidak berhenti pada pencatatan jumlah material yang datang, tetapi harus menghubungkan material dengan kebutuhan pekerjaan, lokasi penggunaannya, sisa material, dan kemungkinan penggunaan kembali. Sistem pencatatan sederhana yang dilakukan secara harian dapat memberikan informasi lebih cepat ketika terjadi penyimpangan antara rencana dan realisasi.

Ketiga, Just in Time dapat dipertimbangkan untuk material yang mempunyai risiko tinggi mengalami kerusakan atau membutuhkan ruang penyimpanan besar. Prinsip JIT tidak berarti menghilangkan persediaan, tetapi menyesuaikan waktu dan jumlah kedatangan material dengan kebutuhan pekerjaan. Ajayi et al. (2019) menempatkan optimalisasi pengadaan dan penyimpanan sebagai bagian penting dari lean construction.

Keempat, Daily Monitoring dapat digunakan untuk memantau pemakaian material dan sumber waste. Pengawasan harian memungkinkan tim proyek mengetahui sisa potongan, perubahan kebutuhan, keterlambatan, dan aktivitas berulang sebelum dampaknya menjadi lebih besar. Monitoring juga dapat digunakan untuk mengembangkan indikator sederhana seperti waste level per jenis material, volume sisa yang dapat digunakan kembali, dan jumlah pekerjaan ulang.

Kelima, Last Planner System dapat memperkuat koordinasi antar pihak. Waiting pada penelitian ini antara lain berkaitan dengan menunggu instruksi, material, alat, dan lokasi pekerjaan. Perencanaan mingguan yang lebih terkoordinasi, komitmen pelaksana terhadap pekerjaan yang siap dikerjakan, dan identifikasi hambatan lebih awal dapat mengurangi waktu tunggu. Dave et al. (2023) menunjukkan bahwa teknologi dan sistem informasi dapat mendukung koordinasi lean dalam lingkungan konstruksi.

Keenam, proses pemotongan baja perlu mendapat perhatian khusus. Sebelum material dipotong, tim dapat menyusun cutting plan berdasarkan dimensi kebutuhan aktual sehingga pola potong memaksimalkan pemanfaatan batang atau profil yang tersedia. Sisa potongan yang masih

layak juga perlu diberi label dan disimpan berdasarkan ukuran agar dapat digunakan untuk kebutuhan berikutnya. Strategi ini sejalan dengan prinsip eliminate waste dan create flow dalam Lean Construction.

Implikasi Manajerial

Temuan penelitian memiliki implikasi langsung bagi pengelola proyek. Pengendalian waste sebaiknya tidak hanya menjadi tanggung jawab petugas lapangan, tetapi menjadi bagian dari sistem manajemen proyek. Project Manager perlu memastikan bahwa perencanaan material, pengadaan, penyimpanan, fabrikasi, pemakaian, dan pencatatan sisa material merupakan rangkaian proses yang saling terhubung.

Pada tingkat operasional, supervisor dan mandor dapat diberikan indikator pengendalian sederhana. Misalnya, setiap pekerjaan yang menggunakan material baja wajib mencatat material masuk, material terpakai, sisa potongan, dan material yang dapat digunakan kembali. Data tersebut kemudian dibandingkan secara berkala dengan rencana. Dengan demikian, pemborosan dapat diketahui berdasarkan bukti dan tidak hanya berdasarkan persepsi.

Pada tingkat perencanaan, koordinasi antara tim engineering, procurement, dan pelaksana perlu diperkuat. Perubahan gambar atau kebutuhan pekerjaan yang terjadi setelah material dipesan dapat meningkatkan risiko waste. Karena itu, perubahan desain atau pekerjaan perlu dikomunikasikan sebelum material difabrikasi atau dipotong sebanyak mungkin. Pendekatan ini dapat mengurangi overprocessing dan defect.

Dari sisi budaya organisasi proyek, pekerja juga perlu dilibatkan dalam proses improvement. Pekerja yang berada paling dekat dengan aktivitas pemotongan, pemindahan, dan pemasangan sering kali mengetahui sumber waste yang tidak selalu terlihat dalam dokumen. Sistem saran sederhana dapat digunakan untuk mengumpulkan ide perbaikan dari pekerja, sejalan dengan prinsip continuous improvement dalam Lean Construction.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian memperkuat beberapa temuan penelitian terdahulu. Jin et al. (2019) menunjukkan bahwa pengelolaan limbah konstruksi merupakan bidang penelitian yang berkembang dan membutuhkan pendekatan terpadu. Penelitian ini menunjukkan kebutuhan tersebut pada konteks proyek factory di Batam melalui penggabungan data material dengan data wawancara.

Alves dan Almeida (2020) menunjukkan bahwa penerapan lean construction secara umum berhubungan dengan peningkatan kinerja proyek, sedangkan Anggraini et al. (2022) menunjukkan efektivitas lean dalam mengidentifikasi aktivitas non-value added. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa aktivitas non-value added juga muncul dalam bentuk overprocessing, transportation, waiting, dan motion.

Bajjou et al. (2023) menekankan penggunaan prinsip lean pada proyek industri untuk mengendalikan material, inventory, dan aliran kerja. Penelitian ini memiliki kedekatan konteks karena objeknya adalah proyek factory. Perbedaannya adalah penelitian ini menggunakan waste level material sebagai indikator utama dan melengkapinya dengan wawancara untuk mengetahui faktor penyebab.

Penelitian Dave, Koskela, dan Sacks (2025) menempatkan teknologi digital sebagai bagian dari Lean Construction 4.0. Temuan penelitian ini membuka peluang pengembangan lebih lanjut berupa integrasi BIM, pencatatan material digital, barcode atau QR code, serta monitoring real-

time. Dengan demikian, pengendalian waste tidak hanya dilakukan secara manual, tetapi dapat menjadi bagian dari sistem informasi proyek.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa jenis waste dan faktor dominan sangat dipengaruhi karakteristik proyek. Karena itu, penerapan Lean Construction tidak seharusnya menggunakan satu paket solusi yang sama untuk semua proyek. Strategi perlu disesuaikan dengan material dominan, metode konstruksi, tata letak lokasi, pola pengadaan, dan sumber waste yang ditemukan melalui data lapangan.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Proyek Pembangunan Factory Block D07 & D08 di Kawasan Panbil menghasilkan waste material dengan tingkat yang berbeda pada berbagai jenis material. Baja WF 300 × 150 × 6,6 × 9 memiliki waste level tertinggi sebesar 2,8%, sedangkan CNP 125 × 66 × 20 × 3 memiliki waste level 0%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengendalian material, khususnya material baja yang memerlukan proses pemotongan dan fabrikasi, menjadi area prioritas.

Faktor penyebab waste yang teridentifikasi melalui observasi dan wawancara adalah overproduction, overprocessing, transportation, waiting, dan motion. Overprocessing menjadi faktor dengan bobot terbesar, yaitu 9,95%, yang menunjukkan pentingnya mengurangi aktivitas berulang dan pekerjaan yang tidak memberikan nilai tambah. Penyebab operasional lain meliputi kesalahan atau ketidaktepatan pelaksanaan, sisa pemotongan, pemesanan material melebihi kebutuhan, perpindahan material berulang, dan keterlambatan koordinasi.

Penerapan Lean Construction dapat diarahkan pada lima strategi utama, yaitu 5S, Material Control, Just in Time, Daily Monitoring, dan Last Planner System. Strategi tersebut perlu diterapkan secara terpadu dari tahap perencanaan hingga pelaksanaan agar pengurangan waste tidak hanya dilakukan setelah material menjadi sisa.

Bagi perusahaan, disarankan meningkatkan pengendalian material sejak perencanaan, pengadaan, penyimpanan, fabrikasi, hingga pemasangan. Proses pemotongan baja perlu didukung cutting plan yang lebih terencana dan sistem identifikasi sisa material yang masih dapat digunakan. Penelitian berikutnya disarankan memperluas analisis dengan memasukkan dampak waste terhadap biaya proyek, waktu pelaksanaan, produktivitas tenaga kerja, dan dampak lingkungan serta mempertimbangkan penggunaan BIM atau teknologi digital untuk pengendalian material secara real-time.

REFERENSI

Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Bilal, M., Alaka, H. A., & Owolabi, H. A. (2019). Optimising material procurement and storage on construction sites: A lean construction approach. *Journal of Engineering, Design and Technology, 17*(1), 32–52.

Alves, T. C. L., & Almeida, R. S. (2020). A meta-analysis of lean construction impacts on project performance. *Engineering, Construction and Architectural Management, 27*(9), 2379–2402.

Anggraini, R., Harpito, H., Siska, M., & Novitri, N. (2022). Implementation of lean construction to eliminate waste: A case study of construction projects in Indonesia. *Jurnal Teknik Industri, 23*(1), 45–56.

Bahtiar, B. (2020). Evaluasi waste dengan penerapan lean construction pada proyek jalan tol. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 210–217.

Bajjou, M. S., Chafi, A., & En-Nadi, A. (2023). Identifying and assessing construction waste in industrial projects using lean principles. *International Journal of Construction Management, 23*(5), 854–868.

Ballard, G., & Howell, G. (2019). Lean project management. *Building Research & Information, 47*(8), 866–880.

Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2018). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management, 31*(7), 971–980.

Dave, B., Koskela, L., & Sacks, R. (2025). Lean Construction 4.0: Integrating digital technologies for waste reduction. *Automation in Construction, 134*, 104112.

Dave, B., Kubler, S., Främling, K., & Koskela, L. (2023). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. *Automation in Construction, 61*, 86–97.

Google Earth. (2026). *Peta lokasi Kawasan Panbil Industrial Estate, Batam*.

Ilo, G. L., & Bhaskara, I. P. (2022). Analisis waste material dengan penerapan lean construction. *Jurnal Teknik Sipil, 18*(2), 123–134.

Jin, R., Yuan, H., & Chen, Q. (2019). Science mapping approach to analyzing global research on construction waste management. *Journal of Cleaner Production, 241*, 118387.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Pedoman pengelolaan limbah konstruksi pada proyek konstruksi bangunan gedung dan perumahan*. Direktorat Jenderal Bina Konstruksi.

Koskela, L., Tezel, A., & Tzortzopoulos, P. (2020). Why is management research irrelevant? *Construction Management and Economics, 38*(4), 327–335.

Lu, W., Webster, C., Chen, K., Zhang, X., & Chen, X. (2021). Computational building information modelling for construction waste management: A systematic review. *Resources, Conservation and Recycling, 172*, 105682.

Olanrewaju, O. I., & Khamidi, M. F. (2022). Stakeholders' perspective on the adoption of lean construction in the Malaysian construction industry. *Journal of Engineering and Technology*, *12*(1), 45–58.

Prisilia, P., & Purnomo, A. (2023). Lean construction approach to material waste in the construction project of elementary school building. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan, 7*(2), 89–98.

Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

Susanti, E., & Suripto, S. (2021). Evaluasi waste dan implementasi lean construction pada proyek gedung kampus. *RIVT: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 6*(1), 1–10.

Turner, R., & Zolin, R. (2018). Forecasting success on large projects: Developing reliable scales to predict multiple perspectives by multiple stakeholders over multiple time frames. *Project Management Journal, 49*(5), 61–86.

Walker, A. (2020). *Project management in construction* (7th ed.). Wiley-Blackwell.