Presisi: Jurnal Teknologi Rekayasa dan Inovasi Teknik
Volume: 1, Nomor: 3, (2026), September: 56 - 65
Website: https://ejournal.ojs-lppm.com/index.php/Presisi/article/view/451
E-ISSN: 3164-4694

Prioritas Pengendalian Waste Material pada Pekerjaan Terowongan Pengelak Bendungan Ciawi

Nicholas Sachion Simanjuntak[1], Christy Amelia Simanjuntak[2], Cindy Exaudi Simanjuntak[3]
Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia [1]
Fakultas Farmasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia [2]
Fakultas Teknik, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia [3]
Corresponding Author: *nicholassachion36@gmail.com[1*]*

Info Artikel
Received: *16 Agustus 2026*
Revised : *27 Agustus 2026*
Accepted: *15 September 2026*
Published: *24 September 2026*

Keywords: *construction waste, cost prioritization, dam tunnel, lean construction, root cause analysis.*

Abstract
Material waste control is often prioritized using physical waste percentages, even though a small percentage in high-volume or high-value materials can generate a larger financial loss. This study develops a cost-based control priority for material waste in the diversion tunnel works of the Ciawi Dam. Project budget documents, bills of quantity, material delivery records, as-built drawings, and an interview with a key project informant were analyzed using Pareto analysis, waste level, waste cost, and root cause analysis. Five material groups accounted for IDR 118.73 billion or 98.82% of the reviewed work value. The results reveal a consistent ranking mismatch. D25 reinforcement had the highest steel waste level at 3.42%, whereas D19 generated the largest steel waste cost at IDR 154.34 million. K-125 blinding concrete had the highest concrete waste level at 4.26%, while K-300 generated the largest concrete loss at IDR 456.90 million. Exposed plywood formwork generated IDR 96.27 million despite a lower waste level than unexposed plywood. The findings show that physical percentages alone can misdirect control resources. Integrating cost consequences with root causes produces a more defensible priority for lean material management.

Kata Kunci*:* analisis akar penyebab, konstruksi ramping, prioritas biaya, terowongan bendungan, waste material.

Abstrak
Pengendalian *waste material* sering diprioritaskan berdasarkan persentase pemborosan fisik, padahal persentase kecil pada material bervolume besar atau bernilai tinggi dapat menimbulkan kerugian lebih besar. Penelitian ini menyusun prioritas pengendalian berbasis biaya pada pekerjaan terowongan pengelak Bendungan Ciawi. Dokumen rencana anggaran biaya, bill of quantity, catatan kedatangan material, *as-built drawing*, dan wawancara dengan informan kunci proyek dianalisis menggunakan Pareto, *waste level*, *waste cost*, dan analisis akar penyebab. Lima kelompok material menyerap Rp118,73 miliar atau 98,82% nilai pekerjaan yang ditinjau. Hasil menunjukkan ketidaksamaan peringkat secara konsisten. Besi D25 memiliki *waste level* tertinggi sebesar 3,42%, tetapi besi D19 menghasilkan *waste cost* terbesar sebesar Rp154,34 juta. Beton K-125 lantai kerja memiliki waste level tertinggi sebesar 4,26%, sedangkan Beton K-300 menghasilkan kerugian terbesar sebesar Rp456,90 juta. Bekisting multipleks exposed menghasilkan *waste cost* Rp96,27 juta meskipun *waste level*-nya lebih rendah daripada multipleks unexposed. Temuan ini memperlihatkan bahwa persentase fisik saja dapat mengarahkan sumber daya pengendalian ke sasaran yang keliru. Integrasi konsekuensi biaya dan akar penyebab menghasilkan prioritas pengelolaan material

yang lebih dapat dipertanggungjawabkan.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.
Publisher: Lembaga Penerbit Penelitian Multidisipliner

PENDAHULUAN

Pemborosan material pada proyek infrastruktur bukan sekadar persoalan sisa fisik di lokasi kerja. Setiap volume yang tidak terpasang membawa biaya pengadaan, pengangkutan, penyimpanan, penanganan, dan potensi gangguan lingkungan. Dalam kerangka lean construction, pemborosan perlu dibaca sebagai penggunaan sumber daya yang tidak menghasilkan nilai bagi pengguna akhir. Karena itu, pengendalian material harus diarahkan pada aliran kerja, ketepatan informasi, dan keputusan lapangan, bukan hanya pada pembersihan sisa setelah pekerjaan selesai (Issa, 2013; Marhani, Jaapar, & Bari, 2012)

Penelitian waste material di Indonesia umumnya mengidentifikasi material dominan, menghitung waste level, lalu menelusuri faktor penyebabnya. Pendekatan tersebut berguna untuk memperlihatkan besarnya selisih antara material yang datang dan material yang terpasang. Namun, penggunaan waste level sebagai satu-satunya dasar prioritas menyimpan kelemahan: persentase tinggi dapat berasal dari material bernilai kecil, sedangkan persentase rendah pada material berharga tinggi dan bervolume besar dapat menghasilkan kerugian yang jauh lebih besar (Adlin, Nursyamsi, & Rambe, 2016; Allo & Bhaskara, 2022; Yuniar, Handayani, & Amalia, 2023)

Masalah pemeringkatan tersebut menjadi penting pada proyek bendungan. Pekerjaan terowongan pengelak memiliki geometri yang kompleks, ruang kerja terbatas, tuntutan kontinuitas pengecoran, dan jalur distribusi material yang tidak selalu sederhana. Beton dapat dipesan dengan toleransi untuk mencegah cold joint, besi tulangan harus menyesuaikan konfigurasi struktur, dan panel multipleks berhadapan dengan pemotongan, pembongkaran, serta kelembapan. Aktivitas yang tampak sebagai pemborosan tidak selalu lahir dari kelalaian pekerja. Sebagiannya merupakan konsekuensi dari keputusan pengendalian risiko. Justru di sinilah analisis perlu kritis: safety allowance yang rasional tetap harus diukur agar tidak berubah menjadi kebiasaan pemesanan berlebih yang tidak pernah dievaluasi.

Lean construction menekankan stabilitas aliran produksi, transparansi kendala, dan pengurangan aktivitas yang tidak memberikan nilai. Last Planner System memperkuat pengendalian berbasis kesiapan pekerjaan, sedangkan visual management membantu penataan ruang dan aliran material di lokasi yang padat (Ballard & Tommelein, 2021; Bascoul, Tommelein, Douthett, Hall, &

Fitchett, 2020)

Analisis Pareto dapat menyaring material yang paling menentukan nilai pekerjaan, sementara root cause analysis membantu membedakan gejala dari penyebab yang dapat dikendalikan. Meski demikian, dua alat tersebut baru berguna apabila ukuran fisik dan ekonomi dibaca bersama. Pareto yang hanya diterapkan pada anggaran tidak menunjukkan efisiensi penggunaan. Sebaliknya, waste level tanpa waste cost dapat mengabaikan konsekuensi finansial. Kajian penyebab juga mudah jatuh menjadi daftar generik apabila tidak ditautkan pada material, proses, dan kondisi proyek yang spesifik (Irfanto, 2022; Muhammad, 2024)

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi material berbiaya dominan, membandingkan peringkat waste level dan waste cost, serta menjelaskan akar penyebab waste pada pekerjaan terowongan pengelak Bendungan Ciawi. Kontribusi penelitian terletak pada penyusunan prioritas pengendalian berbasis konsekuensi biaya. Pendekatan ini tidak mengklaim telah menguji keberhasilan implementasi lean secara sebelum dan sesudah. Penelitian memosisikan lean construction sebagai kerangka evaluasi dan perumusan intervensi yang perlu diuji pada tahap pelaksanaan berikutnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan desain studi kasus deskriptif dengan integrasi data kuantitatif dan kualitatif. Objek penelitian adalah pekerjaan beton pada terowongan pengelak Bendungan Ciawi di Desa Gadog, Kecamatan Megamendung, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Pekerjaan fisik proyek berlangsung pada periode 2016-2022. Analisis dilakukan secara retrospektif terhadap dokumen proyek dan diperdalam melalui wawancara informan kunci pada Februari 2026. Pemisahan waktu ini penting karena wawancara tidak diperlakukan sebagai observasi langsung selama pelaksanaan, melainkan sebagai penjelasan profesional terhadap catatan proyek dan kondisi kerja yang telah terjadi.

Data sekunder terdiri atas Rencana Anggaran Biaya, bill of quantity, catatan kedatangan material, analisis harga satuan, dan as-built drawing. Data tersebut digunakan untuk menentukan nilai pekerjaan, volume material datang, volume terpasang, volume waste, dan harga bahan. Data primer berasal dari wawancara mendalam dengan Pejabat Pembuat Komitmen Bendungan Ciawi yang memahami keputusan teknis dan pengelolaan material proyek. Karena bukti kualitatif bertumpu pada satu informan kunci, hasil root cause analysis diperlakukan sebagai penjelasan kontekstual yang perlu dikonfirmasi dalam penelitian multi-informan, bukan sebagai generalisasi mutlak untuk semua

proyek bendungan.

Analisis dilakukan dalam empat tahap. Pertama, material diperingkat berdasarkan total anggaran dan dipilih menggunakan akumulasi Pareto. Kedua, waste level dihitung sebagai selisih volume kedatangan dan volume terpasang dibagi volume kedatangan, kemudian dikalikan 100%. Ketiga, waste cost dihitung dengan mengalikan volume waste dan harga satuan bahan. Harga bahan digunakan, bukan harga satuan pekerjaan penuh, agar kerugian tidak tercampur dengan upah, peralatan, dan komponen lain yang tidak otomatis terbuang bersama material. Keempat, temuan kuantitatif ditautkan dengan root cause analysis menggunakan pertanyaan 5 Why dan kategori E-DOWNTIME yang relevan.

Secara matematis, perhitungan dinyatakan sebagai berikut: Waste level (%) = [(Vd - Vt) / Vd] x 100, dengan Vd sebagai volume material yang datang dan Vt sebagai volume terpasang. Waste cost = (Vd - Vt) x Hb, dengan Hb sebagai harga satuan bahan. Konsistensi penyebut volume kedatangan dijaga pada seluruh material agar perbandingan tidak bias.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dominasi biaya material

Nilai pekerjaan yang ditinjau sebesar Rp120.144.504.391. Berdasarkan perhitungan ulang atas angka pada RAB, lima kelompok material utama menyerap Rp118.730.257.224 atau 98,82% dari nilai tersebut. Nilai ini sedikit berbeda dari rekapitulasi awal skripsi karena penjumlahan kembali dilakukan langsung terhadap setiap baris material. Dominasi tersebut menunjukkan konsentrasi risiko biaya yang sangat tinggi. Beton K-300 dan besi tulangan ulir saja menyerap 86,90% nilai pekerjaan, sehingga deviasi kecil pada keduanya dapat mengalahkan dampak persentase waste tinggi pada material yang lebih murah.

Tabel 1. *Material prioritas berdasarkan kontribusi biaya*

Urutan	Material	Satuan	Volume RAB	Total biaya (Rp)
1	Beton K-300	m^3	44.846,39	64.369.951.962
2	Besi tulangan ulir	kg	2.278.833,27	40.039.100.554
3	Bekisting exposed	m^2	24.838,81	7.032.238.278
4	Beton K-125	m^3	3.102,12	3.805.057.290
5	Beton K-125 lantai kerja	m^3	2.840,30	3.483.909.140
	Total lima material			118.730.257.224

Hasil tersebut mendukung penggunaan Pareto sebagai pintu masuk, tetapi tidak cukup untuk

menentukan titik pengendalian. Anggaran menunjukkan eksposur biaya sebelum waste terjadi. Pengendalian baru menjadi tajam setelah eksposur tersebut dipadukan dengan volume yang benar-benar tidak terpasang dan harga bahan yang melekat pada selisih tersebut.

Ketidaksamaan peringkat waste level dan waste cost

Perbandingan antar-material memperlihatkan pola utama penelitian ini: peringkat pemborosan fisik tidak identik dengan peringkat kerugian ekonomi. Beton K-125 lantai kerja memiliki waste level 4,26%, hampir empat kali waste level Beton K-300. Namun, Beton K-300 menghasilkan waste cost Rp456,90 juta karena volume waste absolutnya mencapai 487 m3 dan harga bahan per unit lebih tinggi. Dengan kata lain, persentase yang tampak kecil menyembunyikan kerugian terbesar.

Pola yang sama terlihat pada besi. Besi D25 memiliki waste level tertinggi sebesar 3,42%, tetapi volume waste hanya 978,51 kg. Besi D19 memiliki waste level 1,38%, tetapi volume waste mencapai 17.843 kg dan menghasilkan kerugian Rp154,34 juta. Jika pengawas hanya mengejar diameter dengan persentase tertinggi, sumber daya pengendalian justru menjauh dari material yang paling membebani biaya.

Pada bekisting, multipleks unexposed menunjukkan waste level 4,52%, sedangkan multipleks exposed 2,44%. Meskipun demikian, skala penggunaan exposed jauh lebih besar sehingga waste cost-nya mencapai Rp96,27 juta, dibandingkan Rp18,41 juta pada unexposed. Temuan ini menegaskan bahwa waste level tetap penting untuk membaca efisiensi teknis, tetapi waste cost lebih tepat untuk membaca urgensi ekonomi.

Tabel 2. *Perbandingan waste level dan waste cost material*

Material	Datang	Terpasang	Waste	Waste level	Waste cost (Rp)
Beton K-300	44.846,00 m^3	44.359,00 m^3	487,00 m^3	1,09%	456.899.991
Beton K-125	3.102,00 m^3	3.018,00 m^3	84,00 m^3	2,71%	67.915.932
Beton K-125 lantai kerja	2.840,00 m^3	2.719,00 m^3	121,00 m^3	4,26%	97.831.283
Besi D19	1.293.203,76 kg	1.275.360,76 kg	17.843,00 kg	1,38%	154.341.950
Besi D25	28.644,00 kg	27.665,49 kg	978,51 kg	3,42%	8.464.112
Multipleks unexposed	2.411,21 m^2	2.302,14 m^2	109,07 m^2	4,52%	18.405.563

Multipleks exposed	24.840,82 m^2	24.234,23 m^2	606,59 m^2	2,44%	96.267.653

Subtotal waste cost untuk material yang masuk fokus Pareto, yaitu tiga jenis beton, seluruh diameter besi, dan multipleks exposed, mencapai Rp925.055.597. Angka tersebut bukan klaim bahwa seluruh nilai dapat dihilangkan. Sebagian kelebihan beton, misalnya, merupakan cadangan untuk menjaga kontinuitas pengecoran. Nilainya berfungsi sebagai ukuran paparan ekonomi yang harus ditimbang terhadap risiko mutu dan keterlambatan, bukan sebagai vonis bahwa semua selisih merupakan kelalaian.

Akar penyebab waste material

Root cause analysis menunjukkan bahwa waste besi berkaitan dengan variasi detail tulangan, pemotongan sebelum kondisi pemasangan sepenuhnya pasti, pemindahan berulang, dan penyimpanan pada lingkungan lembap. Sisa potongan pendek bukan sekadar akibat pekerja yang tidak hemat. Akar masalahnya terletak pada ketidaksesuaian panjang batang standar dengan kebutuhan elemen serta belum optimalnya cutting plan. Temuan ini sejalan dengan kajian yang menempatkan perencanaan, perubahan detail, kontrol material, dan penyimpanan sebagai sumber penting waste konstruksi (Patrahmansiyah & Fardila, 2023; Yuniar et al., 2023)

Pada beton, safety allowance muncul karena struktur kritis tidak boleh mengalami cold joint. Keputusan memesan cadangan memiliki alasan teknis, tetapi volumenya perlu dikendalikan melalui pembaruan kebutuhan berdasarkan progres aktual, kesiapan area cor, kapasitas alat, waktu tempuh, dan cuaca. Waste juga dipengaruhi penurunan kondisi beton segar selama distribusi, antrean menuju titik cor, serta keterbatasan jangkauan vibrator pada tulangan yang rapat. Artinya, intervensi tidak cukup berupa instruksi untuk mengurangi pesanan. Tanpa stabilitas logistik dan kesiapan pengecoran, pemotongan cadangan secara serampangan justru dapat memindahkan risiko biaya menjadi risiko mutu.

Pada bekisting, pemborosan muncul dari toleransi kebutuhan, kerusakan saat pembongkaran, pemotongan ulang, sisa panel yang tidak dapat dimanfaatkan, dan penyimpanan yang terpapar air. Sistem sliding form pada elemen berulang tidak menunjukkan waste karena panel baja dapat digunakan kembali. Perbandingan internal ini memberikan petunjuk praktis bahwa desain modular dan rencana reuse dapat menurunkan ketergantungan pada multipleks sekali pakai, selama bentuk struktur dan jumlah siklus ekonomis mendukung.

Pembahasan

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa ukuran fisik dan ekonomi membawa pesan manajerial yang berbeda. Waste level berguna untuk menilai efisiensi pemakaian setiap material, sedangkan waste cost menunjukkan besarnya konsekuensi finansial yang harus diprioritaskan. Karena itu, pemeringkatan tidak seharusnya berhenti pada persentase tertinggi. Temuan pada Beton K-300, besi D19, dan multipleks exposed membuktikan bahwa material dengan waste level lebih rendah tetap dapat menjadi sasaran utama ketika volume penggunaan dan nilai bahannya jauh lebih besar. Pola ini memperluas kajian waste material yang selama ini banyak menempatkan persentase sisa sebagai indikator dominan (Allo & Bhaskara, 2022; Yuniar et al., 2023)

Perbedaan peringkat tersebut juga menuntut kehati-hatian dalam membaca kelebihan material. Pada pekerjaan struktur kritis, sebagian cadangan beton merupakan respons terhadap risiko cold joint dan ketidakpastian kondisi lapangan. Namun, alasan teknis tidak boleh menjadi pembenaran otomatis bagi pemesanan berlebih. Prinsip lean construction menuntut cadangan tersebut dihitung, diperbarui berdasarkan kesiapan kerja, dan dievaluasi terhadap kerugian yang benar-benar terjadi. Dengan demikian, pengurangan waste tidak dilakukan dengan memangkas material secara serampangan, melainkan dengan memperbaiki kualitas perencanaan, koordinasi, dan aliran informasi (Ballard & Tommelein, 2021; Issa, 2013)

Tabel 3. *Prioritas intervensi berdasarkan konsekuensi biaya dan akar penyebab*

Prioritas	Dasar keputusan	Akar penyebab dominan	Intervensi yang diusulkan
Beton K-300	Waste level rendah, waste cost tertinggi	Safety allowance, distribusi, kesiapan cor, pemadatan	Pembaruan volume cor harian, gate kesiapan, sinkronisasi batching dan alat
Besi D19	Persentase sedang, volume dan biaya waste terbesar pada besi	Cutting plan, perubahan detail, sisa batang	BBS digital, optimasi kombinasi potong, inventaris sisa berdasarkan panjang
Multipleks exposed	Persentase lebih rendah, tetapi skala pemakaian besar	Pemotongan ulang, kerusakan bongkar, kelembapan	Modularisasi panel, reuse plan, zona simpan kering, kontrol

Prioritas	Dasar keputusan	Akar penyebab dominan	Intervensi yang diusulkan
			pembongkaran
K-125 lantai kerja	Waste level beton tertinggi	Toleransi volume dan kesiapan subgrade	Verifikasi elevasi dan luas aktual sebelum pemesanan
Besi D25 dan unexposed	Waste level tinggi, dampak biaya relatif rendah	Potongan tidak termanfaatkan dan kerusakan panel	Perbaikan efisiensi teknis setelah risiko biaya utama terkendali

Implikasi terhadap lean construction

Implikasi pertama adalah perlunya memisahkan indikator efisiensi teknis dan indikator prioritas ekonomi. Waste level menjawab seberapa efisien suatu material digunakan, sedangkan waste cost menjawab seberapa mendesak material tersebut dikendalikan dari perspektif biaya. Keduanya tidak boleh dipertukarkan. Praktik lean yang hanya menampilkan persentase sisa dapat menghasilkan perbaikan kosmetik: indikator tampak turun, tetapi kerugian terbesar tetap tidak disentuh (Allo & Bhaskara, 2022; Nuciferani, Aulady, Choiriyah, & Sumarsono, 2022)

Implikasi kedua adalah pengendalian perlu ditempatkan sebelum material menjadi sisa. Pada besi, keputusan kritis berada pada finalisasi detail dan kombinasi pemotongan. Pada beton, keputusan kritis berada pada verifikasi kesiapan cor dan sinkronisasi suplai. Pada bekisting, keputusan kritis berada pada modularisasi, urutan penggunaan ulang, metode pembongkaran, dan perlindungan material. Penataan ruang yang visual dan pembaruan status kesiapan dapat mengurangi pemindahan berulang serta waktu tunggu (Ballard & Tommelein, 2021; Bascoul et al., 2020)

Implikasi ketiga menyangkut perilaku organisasi. Waste tidak dapat selalu dibebankan kepada pekerja lapangan karena banyak penyebab terbentuk lebih awal melalui gambar yang belum final, estimasi yang tidak diperbarui, tata letak yang tidak direncanakan, atau keputusan pengadaan yang tidak terhubung dengan progres. Pendekatan humanis bukan berarti membebaskan kesalahan dari evaluasi. Pendekatan ini menempatkan tanggung jawab pada desain sistem kerja, kejelasan informasi, dan kemampuan tim mengambil keputusan tanpa mengorbankan mutu maupun keselamatan.

Penelitian memiliki keterbatasan. Pertama, studi berfokus pada satu proyek sehingga nilai dan pola penyebab tidak dapat digeneralisasi langsung. Kedua, data kualitatif berasal dari satu informan

kunci dan dikumpulkan setelah pekerjaan selesai, sehingga berpotensi mengandung bias ingatan serta perspektif jabatan. Ketiga, volume tidak terpasang diperlakukan sebagai waste berdasarkan rekonsiliasi dokumen, padahal sebagian material mungkin tersimpan, dialihkan, atau digunakan di luar elemen yang ditinjau. Keempat, strategi lean yang diusulkan belum diuji melalui desain sebelum dan sesudah. Karena itu, penelitian lanjutan perlu memverifikasi aliran material secara prospektif, melibatkan logistik, pelaksana, quality control, dan pekerja, serta mengukur perubahan waste cost setelah intervensi.

SIMPULAN

Pengendalian waste material pada pekerjaan terowongan pengelak Bendungan Ciawi tidak cukup didasarkan pada persentase pemborosan fisik. Lima material dominan menyerap Rp118,73 miliar atau 98,82% nilai pekerjaan yang ditinjau. Namun, peringkat waste level berbeda dari peringkat waste cost. Besi D25, Beton K-125 lantai kerja, dan multipleks unexposed memiliki persentase waste tertinggi pada kelompoknya, sedangkan kerugian terbesar justru berasal dari besi D19, Beton K-300, dan multipleks exposed. Temuan tersebut menunjukkan adanya risiko biaya tersembunyi pada material bervolume besar atau bernilai tinggi yang persentase waste-nya tampak rendah. Prioritas pengendalian karena itu perlu menggabungkan waste level, waste cost, dan akar penyebab. Intervensi utama diarahkan pada pembaruan kebutuhan beton berdasarkan kesiapan cor, optimasi pola pemotongan besi, modularisasi dan penggunaan ulang bekisting, penataan aliran material, serta sistem penyimpanan yang sesuai. Strategi ini merupakan usulan berbasis evaluasi, sehingga efektivitasnya tetap harus diuji secara prospektif sebelum diklaim sebagai keberhasilan implementasi lean construction.

DAFTAR PUSTAKA

Adlin, R. A., Nursyamsi, & Rambe, A. P. R. (2016). Analisa Waste Material Konstruksi dengan Aplikasi Metode Lean Construction: Studi Kasus Proyek Pembangunan Showroom Auto 2000. *Jurnal Teknik Sipil*, 1–9.

Allo, R. I. G., & Bhaskara, A. (2022). Waste Material Analysis With the Implementation of Lean Construction. *Jurnal Teknik Sipil*, *18*(2), 343–355. https://doi.org/10.28932/jts.v18i2.4494

Ballard, G., & Tommelein, I. D. (2021). *2020 Current Process Benchmark for the Last Planner System of Project Planning and Control*. Project Production Institute.

Bascoul, A. M., Tommelein, I. D., Douthett, D., Hall, D. M., & Fitchett, A. S. (2020). Visual Management of Daily Construction Site Space Use. *Frontiers in Built Environment*, *6*, 139.

https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00139

Irfanto, R. (2022). The Analysis Cause of Casting Repair Work With Pareto Chart in Project X. *Jurnal Teknik Sipil*, *18*(1), 106–117. https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4485

Issa, U. H. (2013). Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, *52*(4), 697–704. https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.07.003

Marhani, M. A., Jaapar, A., & Bari, N. A. A. (2012). Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *68*, 87–98. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.209

Muhammad, K. (2024). Analisis dan Perbaikan Penulisan List of Material pada Program Preservasi Menggunakan Metode Root Cause Analysis. *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, *4*(4), 452–461. https://doi.org/10.30587/justicb.v4i4.8003

Nuciferani, F. T., Aulady, M. N. F., Choiriyah, S., & Sumarsono, D. S. (2022). *Penerapan Lean Construction pada Proyek Perumahan terhadap Waste Material*. 1–6.

Patrahmansiyah, & Fardila, D. (2023). Identifikasi Faktor-Faktor Penyebab Waste Material pada Proyek Konstruksi. *UTS Student Conference*, *1*(1), 35–42.

Yuniar, R., Handayani, E., & Amalia, K. R. (2023). Analisa Waste Material Konstruksi dengan Menggunakan Metode Lean Construction: Studi Kasus Pekerjaan Pembangunan Puskesmas Purwodadi Kabupaten Tanjung Jabung Barat. *Jurnal Civronlit Unbari*, *8*(2), 83–91. https://doi.org/10.33087/civronlit.v8i2.119