

Evaluasi Wastage Level Material Struktur (Besi, Kayu, dan Beton) pada Proyek Rumah Susun Pemerintah di Surakarta

Heribertus Nurbawono Budiharsanto, Mardiaman*

Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Tama Jagakarsa Institut, Jakarta Selatan, 12530, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

wastage level, limbah konstruksi, material struktur, rumah susun pemerintah, manajemen material

***Correspondence email:**

mardi240967@gmail.com

Submitted: 28 Desember 2025

Revised: 05 Januari 2026

Accepted: 24 Januari 2026

Published: 04 Februari 2026

ABSTRAK

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor dengan tingkat pemborosan material yang tinggi, khususnya pada pekerjaan struktur bangunan gedung. Pemborosan material berdampak langsung pada inefisiensi biaya proyek serta peningkatan beban lingkungan, sehingga menjadi isu penting dalam penerapan konstruksi berkelanjutan, terutama pada proyek rumah susun pemerintah yang menggunakan dana publik. Oleh karena itu, evaluasi pemborosan material berbasis data aktual diperlukan sebagai bentuk akuntabilitas dan peningkatan kinerja pengelolaan material. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat pemborosan material struktur (wastage level) yang meliputi besi tulangan, kayu bekisting (plywood), dan beton pada proyek rumah susun pemerintah di Kota Surakarta. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan studi kasus, melalui perbandingan antara data penerimaan (acceptance) dan pemakaian (use) material aktual di lapangan selama pelaksanaan pekerjaan struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material besi memiliki rata-rata wastage tertinggi sebesar 13,38%, diikuti oleh plywood sebesar 9,90%, sedangkan beton memiliki wastage terendah sebesar 2,50%. Wastage tertinggi pada material besi terjadi pada wiremesh M6 sebesar 55,74%, sementara pada plywood terjadi pada triplek 12 mm sebesar 17,73%. Rendahnya wastage beton menunjukkan efektivitas sistem pengadaan beton siap pakai dalam mengendalikan volume dan sisa material. Berdasarkan temuan tersebut, direkomendasikan peningkatan perencanaan pemotongan material besi, pemilihan spesifikasi material bekisting yang lebih tahan terhadap pemakaian ulang, serta penguatan sistem pengendalian material di lapangan guna menekan pemborosan material dan mendukung penerapan konstruksi berkelanjutan pada proyek perumahan pemerintah.

ABSTRACT

Keywords:

wastage level, construction waste, structural materials, government apartment projects, manajemen material

The construction industry is one of the sectors with a high level of material waste, particularly in structural works of building projects. Material waste not only leads to project cost inefficiencies but also increases environmental burdens and contradicts the principles of sustainable construction, especially in government-funded apartment projects that demand high accountability. Therefore, evaluating material waste based on actual field data is essential to improve material management performance. This study aims to evaluate the level of material waste (wastage level) of structural materials, including reinforcing steel, formwork plywood, and concrete, in a government apartment project in the City of Surakarta. The research employed a descriptive quantitative approach with a case study method, using a comparison between material acceptance data and actual material usage during the execution of structural works. The results indicate that reinforcing steel exhibits the highest average wastage level at 13.38%, followed by plywood at 9.90%, while concrete shows the lowest wastage at 2.50%. The highest wastage in steel materials occurs in M6 wiremesh, reaching 55.74%, whereas the highest plywood wastage is found in 12 mm plywood at 17.73%. The relatively low concrete wastage reflects the effectiveness of ready-mix concrete procurement systems in controlling material volume and minimizing residual waste. Based on these findings, it is recommended to improve steel cutting planning, select more durable formwork materials, and strengthen on-site material control to reduce material waste and support the implementation of sustainable construction practices in government housing projects.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi berkontribusi signifikan terhadap pembangunan infrastruktur, namun juga menjadi salah satu penyumbang limbah material terbesar. Limbah konstruksi natural waste adalah limbah yang dihasilkan dari proses yang tidak terhindarkan namun memiliki batas toleransi.

Produksi bahan limbah konstruksi telah meningkat di seluruh dunia dengan kecepatan yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh dorongan besar dalam kegiatan konstruksi yang menyebabkan pembongkaran sejumlah besar bangunan

tua yang ada baik karena terbatasnya lahan untuk pembangunan baru atau karena fakta bahwa bangunan yang ada cacat secara struktural. Sumber limbah konstruksi lainnya berasal dari prosedur produksi beton itu sendiri yang mencakup pengambilan sampel silinder beton standar dalam jumlah yang signifikan untuk setiap meter kubik beton yang diproduksi (Hamad & Dawi, 2020a).

Limbah pada konstruksi seperti batu bata, besi, triplek, kayu, beton dan lain-lain (Can et al., 2023). Direct waste adalah limbah konstruksi yang ada pada setiap aktivitas konstruksi (Henvy et al., 2023). Limbah material konstruksi berdampak pada pemborosan sumber daya alam, peningkatan biaya proyek, serta degradasi lingkungan (Ajayi, SO, Oyedele, LO, Bilal, M, Akinade, OO, Alaka, HA, Owolabi, HA & Kadiri, 2015; Luangcharoenrat et al., 2019). Pada bangunan gedung, pekerjaan struktur merupakan tahap dengan konsumsi material terbesar sehingga berpotensi menghasilkan pemborosan material yang signifikan (Nwachukwu et al., 2016). Penggantian material dapat mengurangi limbah (Elwi et al., 2024).

Material struktur seperti besi tulangan, kayu bekisting, dan beton sering mengalami pemborosan akibat perencanaan yang kurang akurat, kesalahan pemotongan, serta lemahnya pengendalian material di lapangan (Akinade et al., 2018; Luangcharoenrat et al., 2019). Sejumlah penelitian melaporkan bahwa pemborosan material struktur dapat mencapai 5–20% dari total material yang digunakan (Septianugraha et al., 2021). Oleh karena itu, pengukuran pemborosan material secara kuantitatif (wastage level) menjadi penting untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan material (Septianugraha et al., 2021).

Penelitian yang berbeda telah melaporkan timbulan limbah konstruksi dengan nilai seperti 300–700 kg/m², 11–25 kg/m², 115 kg/m² dan 24, 1 kg/m². Juga telah dipelajari alasannya yang telah diklasifikasikan dalam kategori berikut: desain, eksekusi, manajemen material, residu dan kegiatan lainnya (Paper & Abarca-guerrero, 2019).

Sumber limbah konstruksi berasal dari puing-puing. Para peneliti telah mengumpulkan jumlah limbah dari proyek konstruksi untuk mendapatkan wawasan tentang status masalah dan temukan cara untuk mengelolanya. Proporsi puing-puing konstruksi (berdasarkan berat) yang ditimbun di masing-masing negara menunjukkan antara 13% dan 60% dibandingkan dengan jumlah total limbah (Luangcharoenrat et al., 2019).

Kajian empiris di Indonesia juga menunjukkan bahwa sisa material konstruksi masih menjadi permasalahan dominan pada proyek bangunan gedung. Penelitian oleh (Dwiretnani et al., 2020) pada proyek pembangunan mesjid di Jambi melaporkan bahwa sisa material terbesar terjadi pada material struktur dan agregat, yang dipengaruhi oleh kesalahan pemotongan, pengadaan material berlebih, serta keterbatasan pemanfaatan sisa material. Studi lanjutan oleh (Triyandi et al., 2022) pada proyek gedung kantor Kejaksaan Tinggi Jambi juga menunjukkan bahwa material beton, besi tulangan, dan kayu bekisting merupakan penyumbang utama biaya sisa material akibat lemahnya pengendalian material dan keterampilan tenaga kerja di lapangan. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa evaluasi pemborosan material berbasis data aktual proyek masih sangat relevan untuk meningkatkan efisiensi dan akuntabilitas pengelolaan material konstruksi.

Proyek rumah susun pemerintah menggunakan dana publik sehingga dituntut memiliki efisiensi biaya dan akuntabilitas yang tinggi. Namun, kajian empiris terkait wastage level material struktur pada proyek perumahan pemerintah di Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi wastage level material besi, plywood, dan beton pada proyek rumah susun pemerintah di Kota Surakarta sebagai dasar peningkatan pengelolaan material dan penerapan konstruksi berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kuantitatif tingkat pemborosan material struktur yang meliputi besi tulangan, kayu bekisting (plywood), dan beton pada proyek rumah susun pemerintah di Kota Surakarta berdasarkan data aktual penerimaan dan pemakaian material di lapangan. Tujuan ini diarahkan untuk memperoleh gambaran nyata efisiensi penggunaan material struktur serta mengidentifikasi material dengan tingkat pemborosan tertinggi sebagai dasar perbaikan pengelolaan material proyek.

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pemilik proyek, kontraktor, dan pengelola proyek konstruksi dalam meningkatkan efisiensi penggunaan material struktur, menekan pemborosan biaya, serta mengurangi timbulan limbah konstruksi pada proyek perumahan pemerintah. Selain itu, secara akademik, penelitian ini berkontribusi dalam memperkaya kajian empiris terkait evaluasi wastage level material struktur berbasis data aktual proyek di Indonesia, yang hingga saat ini masih relatif terbatas.

Keterbaruan (novelty) penelitian ini terletak pada penggunaan data penerimaan dan pemakaian material aktual proyek rumah susun pemerintah sebagai dasar evaluasi wastage level masing-masing material struktur secara terpisah dan komparatif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan pendekatan estimasi atau survei persepsi, penelitian ini menyajikan pengukuran pemborosan material secara langsung berbasis dokumen proyek, sehingga hasilnya lebih objektif, terukur, dan relevan sebagai indikator kinerja pengelolaan material serta sebagai dasar penerapan konstruksi berkelanjutan pada proyek perumahan pemerintah.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dan pendekatan studi kasus pada proyek rumah susun pemerintah Kota Surakarta. Penelitian dilakukan dari Januari hingga Agustus 2024, dan kasusnya adalah pekerjaan struktur rumah susun pemerintah Kota Surakarta. Objek penelitian difokuskan pada pekerjaan struktur yang meliputi material besi tulangan, kayu bekisting (plywood), dan beton.

Data diperoleh dari dokumen proyek berupa laporan penerimaan material, laporan pemakaian material, dan catatan pekerjaan struktur. Wastage level dihitung dengan membandingkan volume material rencana dan volume material aktual terpasang menggunakan Persamaan (1):

$$\text{Wastage Level (\%)} = \frac{V_r - V_t}{V_r} \times 100\% \quad (1)$$

di mana:

V_r = volume material rencana

V_t = volume material terpasang

Perhitungan wastage level dilakukan secara terpisah untuk material besi tulangan, kayu bekisting, dan beton. Hasil perhitungan kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan temuan penelitian terdahulu untuk menilai tingkat efisiensi penggunaan material struktur. Hasil perhitungan wastage level dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan antar material untuk menilai tingkat efisiensi penggunaan material struktur.

HASIL

Material Beton

Sebelum dilakukan analisis kuantitatif wastage level beton, penting untuk dipahami bahwa material beton merupakan material struktur dengan karakteristik “sekali pakai” (single-use material) yang sangat dipengaruhi oleh ketepatan perencanaan volume, metode pengecoran, serta sistem pengadaan beton siap pakai (ready-mix concrete). Beberapa penelitian terkini menyatakan bahwa beton memiliki tingkat pemborosan yang relatif lebih rendah dibandingkan material struktur lain karena volume pengadaan biasanya telah dihitung secara presisi berdasarkan gambar kerja dan shop drawing yang terstandarisasi (Guman & Wegner-kozlova, 2020; Hamad & Dawi, 2020b). Oleh karena itu, analisis wastage beton dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai evaluasi kuantitatif, tetapi juga sebagai indikator efektivitas sistem pengendalian mutu dan volume pekerjaan struktur beton di proyek rumah susun pemerintah.

Tabel 1. Limbah Beton

Item	Penerimaan	Penggunaan	Limbah	%
Bore Pile D60	20	19,7	0,3	1,52%
Kolom Lt 2	10	9,98	0,02	0,20%
Plt Lt Dan Blok	43,5	43	0,5	1,16%
Lt 2	8,5	8,3	0,2	2,41%
Plat Lt 3	56	54	2	3,70%
Kolom Lt 3	6,5	6,3	0,2	3,17%
Plt Lt 4	71	70	1	1,43%
K Lt 4	17	16,3	0,7	4,29%
Pl Lt 5	70	68	2	2,94%
Kl Lt 5	12,5	12,3	0,2	1,63%
Pl Lt 6	72	70	2	2,86%
Kl Lt 6	12	11,5	0,5	4,35%
Pl Lt 7	103	102	1	0,98%
Kl Lt 7	10	9,5	0,5	5,26%
Pl Lt 8	92	91	1	1,10%
Kl Lt 8	12	11,5	0,5	4,35%
Pl Lt 9	185	183	2	1,09%
			Rata-rata	2,50%

Sumber: Data Olahan (2024)

Berdasarkan Tabel 1, wastage level beton berkisar antara 0,20%–5,26% dengan rata-rata 2,50%. Nilai ini menunjukkan bahwa pemborosan beton relatif rendah. Hal ini disebabkan oleh penggunaan beton siap pakai dengan sistem pengendalian volume yang baik, sehingga kehilangan material dapat diminimalkan.

Nilai rata-rata wastage beton sebesar 2,50% yang diperoleh dalam penelitian ini berada di bawah ambang batas toleransi pemborosan beton yang dilaporkan dalam beberapa studi internasional, yaitu berkisar antara 3–5% (Luangcharoenrat et al., 2019). Hal ini menunjukkan bahwa sistem perencanaan dan pelaksanaan pengecoran beton pada

proyek rumah susun pemerintah di Surakarta telah menerapkan praktik pengendalian material yang relatif baik. Selain itu, penggunaan beton siap pakai juga terbukti mampu meminimalkan kesalahan pencampuran di lapangan, mengurangi sisa beton, serta menekan risiko over-ordering yang sering terjadi pada sistem beton konvensional (Alsamarraie et al., 2022).

Material Plywood

Berbeda dengan beton, material plywood atau kayu bekisting merupakan material yang sangat dipengaruhi oleh frekuensi pemakaian ulang (reuse), kualitas material awal, serta metode pembongkaran bekisting di lapangan. Studi terbaru menunjukkan bahwa pemborosan material kayu bekisting cenderung tinggi pada proyek gedung bertingkat akibat kerusakan mekanis, perubahan dimensi, serta ketidaksesuaian ukuran potongan dengan kebutuhan aktual struktur (Memon et al., 2020). Oleh karena itu, analisis wastage plywood dalam penelitian ini menjadi penting untuk mengidentifikasi sejauh mana efektivitas pemanfaatan ulang material bekisting pada proyek perumahan pemerintah.

Tabel 2. Limbah Kayu

Bahan	Penerimaan	Penggunaan	Limbah	%
Triplek 12 mm	1660	1410	250	17,73%
Triplek 15 mm	297	291	6	2,06%
			Rata-rata	9,90%

Sumber: Data Olahan (2025)

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa triplek 12 mm memiliki wastage tertinggi sebesar 17,73%, sedangkan triplek 15 mm hanya 2,06%, dengan rata-rata plywood sebesar 9,90%. Tingginya pemborosan pada triplek 12 mm mengindikasikan rendahnya daya tahan material terhadap pemakaian berulang.

Tingginya wastage pada triplek 12 mm sebesar 17,73% menunjukkan bahwa material dengan ketebalan lebih rendah memiliki tingkat degradasi yang lebih cepat akibat paparan kelembaban, tekanan mekanis, dan siklus bongkar-pasang yang berulang. Fenomena tingginya pemborosan material kayu bekisting dalam penelitian ini konsisten dengan hasil penelitian (Triyandi et al., 2022), yang melaporkan bahwa sisa papan bekisting banyak terjadi akibat kerusakan saat pembongkaran serta rendahnya keterampilan pekerja dalam menangani material non-permanen. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik material sementara seperti plywood memerlukan strategi reuse yang terencana agar tidak menjadi sumber limbah dominan pada proyek bangunan gedung.

Temuan ini sejalan dengan penelitian (Chowi et al., 2024) yang menyatakan bahwa rendahnya ketahanan material bekisting merupakan salah satu penyumbang utama limbah kayu pada proyek bangunan gedung. Sebaliknya, rendahnya wastage pada triplek 15 mm mengindikasikan bahwa pemilihan material dengan spesifikasi teknis yang lebih baik dapat secara signifikan menekan pemborosan material bekisting.

Material Besi

Material besi tulangan dan wiremesh merupakan komponen utama struktur beton bertulang yang sangat rentan terhadap pemborosan akibat proses pemotongan, penyesuaian dimensi, serta kesalahan estimasi panjang tulangan. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa pemborosan besi tulangan sering kali tidak terdeteksi secara langsung karena sisa material dianggap masih dapat dimanfaatkan, namun pada praktiknya tidak seluruh sisa potongan dapat digunakan kembali. Oleh karena itu, analisis wastage material besi dalam penelitian ini difokuskan pada perbandingan antara volume penerimaan dan volume aktual terpasang untuk memperoleh gambaran nyata tingkat efisiensi pemanfaatan material besi di lapangan.

Tabel 3. Limbah Besi

Bahan	Penerimaan	Penggunaan	Limbah	%
steel D8	180	180	0	0,00%
steel D10 polos	200	200	0	0,00%
steel D10	26660	26380	280	1,06%
steel D13	13970	13130	840	6,40%
steel D16	4170	3960	210	5,30%
steel D19	7780	7480	300	4,01%
steel D22	4326	3270	1056	32,29%
steel D25	1145	1089	56	5,14%
WM6	95	61	34	55,74%
WM8	270	218	52	23,85%
			Rata-rata	13,38%

Sumber: Data Olahan (2025)

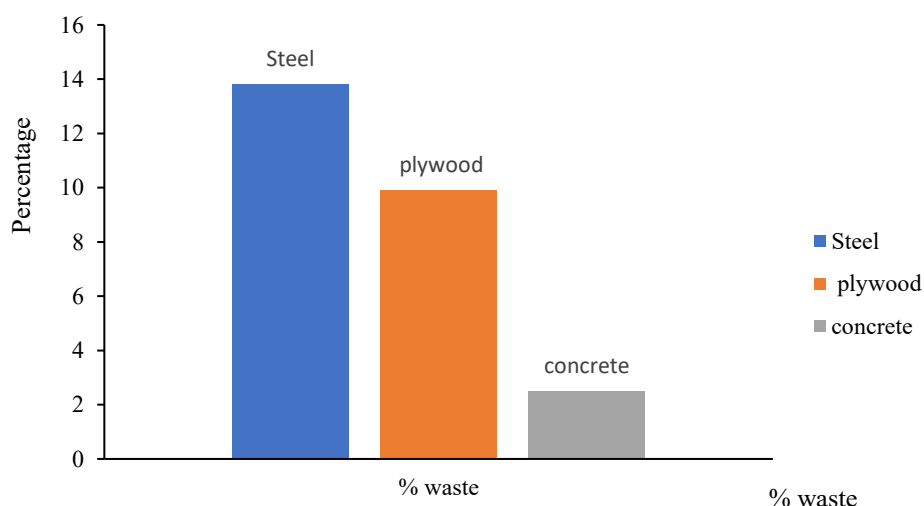
Berdasarkan Tabel 3, material besi menunjukkan variasi wastage yang paling signifikan. Rata-rata wastage besi sebesar 13,38%, dengan nilai tertinggi pada wiremesh M6 (55,74%) dan wiremesh M8 (23,85%). Hal ini menunjukkan ketidakefisienan pemotongan dan keterbatasan pemanfaatan sisa material. Wastage tertinggi pada wiremesh M6 sebesar 55,74% menunjukkan bahwa material fabrikasi dengan dimensi standar pabrik memiliki keterbatasan fleksibilitas dalam menyesuaikan kebutuhan lapangan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Dwiretnani et al., 2020; Triyandi et al., 2022) yang mengidentifikasi bahwa sisa material besi tulangan umumnya disebabkan oleh kesalahan pemotongan, sisa potongan yang terlalu pendek untuk digunakan kembali, serta keterbatasan perencanaan detail kebutuhan tulangan. Dengan demikian, tingginya wastage wiremesh dan baja tulangan pada proyek rumah susun pemerintah di Surakarta memperkuat bukti empiris bahwa material besi merupakan material struktur dengan risiko pemborosan paling tinggi apabila tidak didukung oleh strategi manajemen material yang sistematis.

Kondisi ini sering menyebabkan sisa material yang tidak dapat dimanfaatkan kembali secara optimal. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Akinade et al. (2018) dan studi terbaru oleh Alsamarraie et al. (2022) yang menyimpulkan bahwa material baja dengan kebutuhan pemotongan tinggi memiliki risiko pemborosan paling besar apabila tidak didukung oleh perencanaan detail dan strategi pemanfaatan sisa material yang jelas..

Perbandingan Antar Material

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja pengelolaan material struktur, dilakukan perbandingan wastage level antar material utama, yaitu beton, plywood, dan besi. Perbandingan ini bertujuan untuk mengidentifikasi material dengan kontribusi limbah terbesar serta menentukan prioritas strategi pengendalian material pada proyek rumah susun pemerintah. Visualisasi perbandingan wastage level disajikan dalam bentuk diagram agar perbedaan antar material dapat diamati secara lebih jelas dan sistematis.



Gambar 1. Perbandingan Limbah Beton, kayu dan besi

Sumber: olahan data 2025

Perbandingan wastage level pada Gambar 1 menunjukkan bahwa material besi memiliki pemborosan tertinggi, diikuti oleh plywood, sedangkan beton memiliki pemborosan terendah.

Berdasarkan Tabel, 1,2 dan 3 diperoleh perbandingan wastage level material struktur pada proyek rumah susun pemerintah di Kota Surakarta. Secara keseluruhan, material besi menunjukkan rata-rata wastage tertinggi sebesar 13,38%, diikuti oleh plywood sebesar 9,90%, sedangkan beton memiliki wastage terendah sebesar 2,50%. Tingginya wastage pada wiremesh M6 (55,74%) dan st D22 (32,29%) menunjukkan bahwa material yang memerlukan pemotongan dan penyesuaian di lapangan memiliki risiko pemborosan paling besar. Sebaliknya, rendahnya wastage beton mengindikasikan bahwa sistem pengadaan dan pelaksanaan yang terkontrol mampu menekan pemborosan material secara signifikan. Selain itu pengelolaan limbah dapat meningkatkan ekonomi(Guman & Wegner-kozlova, 2020)

Gambar 1 memperlihatkan perbedaan yang kontras antara wastage beton, plywood, dan besi, di mana besi menunjukkan pemborosan paling signifikan. Pola ini mengindikasikan bahwa kompleksitas proses fabrikasi dan pemasangan material berbanding lurus dengan besarnya potensi limbah. Hasil ini memperkuat argumen bahwa strategi pengendalian material tidak dapat disamaratakan, melainkan harus disesuaikan dengan karakteristik masing-masing material struktur.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemborosan material struktur masih menjadi permasalahan utama pada proyek rumah susun pemerintah. Tingginya wastage besi dan plywood sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa material yang memerlukan pemotongan dan pemakaian sementara cenderung menghasilkan limbah lebih besar (Nwachukwu et al., 2016; Poon et al., 2010). Sebaliknya, rendahnya wastage beton menunjukkan bahwa sistem pengadaan dan pelaksanaan yang terkontrol efektif dalam menekan pemborosan material.

Perbedaan wastage antar material menegaskan bahwa karakteristik material dan metode pelaksanaan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penggunaan material. Oleh karena itu, evaluasi wastage level dapat dijadikan indikator kinerja pengelolaan material dan dasar penerapan strategi reduce, reuse, recycle pada proyek perumahan pemerintah (Akinade et al., 2018; Alsamarraie et al., 2022; Nwachukwu et al., 2016). Menekankan perlunya pendidikan, lokakarya, dan pelatihan untuk meningkatkan kesadaran tentang strategi dan manfaat pengelolaan limbah konstruksi yang efektif (Chowi et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemborosan material pada proyek rumah susun pemerintah masih berada pada tingkat yang memerlukan perhatian serius, terutama pada material besi dan plywood. Tingginya wastage pada kedua material tersebut tidak hanya berdampak pada pembengkakan biaya proyek, tetapi juga meningkatkan beban lingkungan akibat akumulasi limbah konstruksi. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, evaluasi wastage level berbasis data aktual seperti yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dijadikan dasar perumusan kebijakan pengelolaan material yang lebih efektif dan akuntabel.

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa tingkat pemborosan material struktur pada proyek rumah susun pemerintah di Kota Surakarta berbeda secara signifikan antar material. Material besi memiliki rata-rata wastage tertinggi sebesar 13,38%, terutama pada wiremesh M6, diikuti plywood sebesar 9,90%, sedangkan beton menunjukkan wastage terendah sebesar 2,50%. Rendahnya wastage beton mencerminkan efektivitas sistem pengadaan beton siap pakai, sementara tingginya wastage besi dan plywood menunjukkan lemahnya perencanaan pemotongan dan pemanfaatan ulang material. Keterbaruan penelitian ini terletak pada evaluasi wastage level berbasis data aktual penerimaan dan pemakaian material proyek, sehingga menghasilkan pengukuran yang objektif dan terukur. Temuan ini merekomendasikan penguatan manajemen material melalui perencanaan pemotongan detail, pemilihan spesifikasi material yang tepat, dan pengendalian material berbasis data untuk mendukung konstruksi berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajayi, SO, Oyedele, LO, Bilal, M, Akinade, OO, Alaka, HA, Owolabi, HA & Kadiri, K. (2015). Waste effectiveness of the construction industry : Understanding the impediments and requisites for improvements. *Elsevier*, 1(1), 36. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.040>
- Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, A., Owolabi, H. A., & Arawomo, O. O. (2018). Designing out construction waste using BIM technology : Stakeholders ' expectations for industry deployment. *Journal of Cleaner Production Journal*, 180(1), 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.022>
- Alsamarraie, M. M., Balasbaneh, A. T., & Ghazali, F. (2022). Evaluation Of 3rs Concept For Sustainable Steel Waste Disposal: Control Evaluation Of 3rs Concept For Sustainable Steel Waste Disposal: Control Strategy. *Malaysian Journal Of Civil Engineering*, 34(1), 11–17.
- Can, G., Öztaş, S. K., & Taş, E. F. (2023). Material Waste Management in the Construction Industry : Brick Waste. *Kerpik'23 – Gain Information from the Traditional Earthen Architecture 10th International Conference*, 26–27.
- Chowi, S. S., Maharjan, N., & Manandhar, R. (2024). Identification of Causes of Construction Waste Materials Generation : A Case Identification of Causes of Construction Waste Materials Generation : A Case Study of Tribhuvan International Airport. *Journal of Transportation Systems*, 9(3), 32–41. <https://doi.org/10.46610/JoTS.2024.v09i03.004>
- Dwiretnani, A., Amalia, K. R., & K, A. W. A. (2020). Analisa Sisa Material Konstruksi Pada Kegiatan Pembangunan Mesjid. *Jurnal Talenta Sipil*, 3(2), 67–70. <https://doi.org/10.33087/talantasipil.v3i2.31>
- Elwi, M., Amr, M., Ahmed, E., & Ahmed, S. (2024). Utilization of steel slag as partial replacement for coarse aggregate in concrete. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9(5), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01464-y>
- Guman, O., & Wegner-kozlova, E. (2020). Waste management based on circular economy principles. *E3S Web of Conferences 177, 04014 (2020)*, 04014, 1–10.
- Hamad, B. S., & Dawi, A. H. (2020a). Case Studies in Construction Materials Sustainable normal and high strength recycled aggregate concretes using crushed tested cylinders as coarse aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 7(August 2017), 228–239. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.006>
- Hamad, B. S., & Dawi, A. H. (2020b). Sustainable normal and high strength recycled aggregate concretes using crushed tested cylinders as coarse aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 7(August 2017), 228–239.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.006>

- Henvy, F. Y., Sophia, A. V., & Dermawan, D. (2023). Identifikasi Jenis Limbah Konstruksi Pabrik Minyak Goreng. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 6(2623), 181–186.
- Luangcharoenrat, C., Intrachoto, S., & Peansupap, V. (2019). Factors Influencing Construction Waste Generation in Building Construction : Thailand ' s Perspective. *Sustainability*, 1(11), 17.
- Memon, M. A., Mangnejo, D. A., Sohu, S., Hussain, A., Hassan, M., Zulfiqar, S., Bhutto, A., & Mir, K. (2020). Identification of Causes for Construction Waste Material in Construction Projects of Sindh Province. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology (IRJIET) ISSN*, 4(10), 7–13.
- Nwachukwu, L., Orji, S., Agu, E., & 3, C. O. (2016). Reducing Material Wastes in Building Construction Sites : An Action for Sustainable Development. *Civil and Environmental Research*, 8(1), 50–57.
- Paper, C., & Abarca-guerrero, L. (2019). *Material management practices for construction waste reduction. WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 223(September 2017). <https://doi.org/10.2495/SC170481>
- Poon, C. S., Yu, A. T. W., Jaillon, L., Engineering, S., Hom, H., Kong, H., & Yu, A. T. W. (2010). Reducing building waste at construction sites in Hong Reducing building waste at construction sites in. *Construction Management and Economics*, 22(April 2013), 461–470. <https://doi.org/10.1080/0144619042000202816>
- Septianugraha, A. F., Winarno, S., Sipil, S. T., & Indonesia, U. I. (2021). Estimasi Indeks Waste Material Konstruksi untuk Proyek Bangunan di Indonesia. *AGREGAT*, 6(2), 7.
- Triyandi, J., Dwiretnani, A., & Setiawan, A. (2022). Jurnal Talenta Sipil Gedung Kantor Kejaksaan Tinggi Jambi. *Jurnal Talenta Sipil*, 5(2), 367–376. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v5i2.140>