

## **Metode *Lean Construction* dalam Pengendalian Limbah Material pada Pekerjaan Struktur Baja di Proyek Gedung Makodim 521 Kota Kediri**

**Farhan Maulana Ivo, Sony Susanto\***

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kediri, Jawa Timur

---

### **ARTICLE INFO**

#### **Kata Kunci:**

Limbah Konstruksi, Manajemen Material, Lean Construction, Analisis Pareto, Konstruksi Berkelanjutan

#### **\*Correspondence email:**

[sonysusanto@unik-kediri.ac.id](mailto:sonysusanto@unik-kediri.ac.id)

**Submitted:** 18 Oktober 2025

**Revised:** 24 November 2025

**Accepted:** 11 Januari 2026

**Published:** 02 Februari 2026

### **ABSTRAK**

Industri konstruksi berkontribusi signifikan terhadap pembangunan infrastruktur namun menghadapi tantangan besar berupa inefisiensi penggunaan material yang memicu limbah konstruksi. Studi menunjukkan bahwa rata-rata 5–15% material terbuang sia-sia selama pelaksanaan proyek, yang meningkatkan biaya, menyebabkan keterlambatan, dan berdampak negatif pada lingkungan. Proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri dipilih sebagai objek penelitian karena melibatkan penggunaan material struktur baja WF, gording CNP, dan penutup atap Onduvilla dengan biaya tinggi dan potensi limbah signifikan. Analisis awal mengungkapkan delapan material menyumbang lebih dari 80% total biaya pekerjaan atap dengan tingkat limbah tertinggi sebesar 2,32% pada material penutup atap Onduvilla dan volume limbah absolut terbesar 27,14 kg pada gording profil CNP. Penelitian ini bertujuan mengembangkan strategi pengendalian limbah berbasis data menggunakan pendekatan *Lean Construction*. Metode yang digunakan meliputi identifikasi material, analisis Pareto untuk menentukan material prioritas, perhitungan tingkat limbah, serta analisis penyebab pemborosan. Strategi yang dirancang mencakup penerapan *Just in Time (JIT)*, pelatihan tenaga kerja, optimalisasi desain dengan Building Information Modeling (BIM), penerapan prinsip 5S, serta pemanfaatan dan daur ulang material sisa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan strategi ini berpotensi menurunkan limbah hingga 38%, mengurangi stok berlebih sebesar 30%, serta memanfaatkan kembali hingga 50% material sisa. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyediaan kerangka strategi pengendalian limbah yang terukur dan dapat diimplementasikan langsung untuk meningkatkan efisiensi proyek dan mendukung praktik konstruksi berkelanjutan di Indonesia maupun negara berkembang lainnya.

---

### **ABSTRACT**

#### **Keywords:**

Construction Waste; Material Management; Lean Construction; Pareto Analysis; Sustainable Construction.

The construction industry contributes significantly to infrastructure development but faces major challenges in the form of material inefficiency that generates construction waste. Studies show that an average of 5–15% of materials are wasted during project execution, increasing costs, causing delays, and having a negative impact on the environment. The construction project of the Makodim 521 Building in Kediri City was chosen as the research object because it involves the use of WF steel structures, CNP purlins, and Onduvilla roof coverings with high costs and significant waste potential. Initial analysis revealed that eight materials contributed more than 80% of the total roofing work cost, with the highest waste level of 2.32% found in Onduvilla roof coverings and the largest absolute waste volume of 27.14 kg in CNP profile purlins. This research aims to develop a data-based waste control strategy using the *Lean Construction* approach. The methods used include material identification, Pareto analysis to determine priority materials, calculation of waste levels, and analysis of the causes of waste. The strategies designed include the implementation of *Just in Time (JIT)*, worker training, design optimization with Building Information Modeling (BIM), application of the 5S principles, as well as utilization and recycling of leftover materials. The results show that the implementation of these strategies has the potential to reduce waste by up to 38%, reduce excess stock by 30%, and reuse up to 50% of leftover materials. The main contribution of this research is to provide a measurable waste control strategy framework that can be directly implemented to improve project efficiency and support sustainable construction practices in Indonesia and other developing countries.

---

## **PENDAHULUAN**

Industri konstruksi merupakan sektor penting yang mendukung pertumbuhan infrastruktur dan ekonomi global. Namun, proyek konstruksi sering menghadapi masalah inefisiensi dalam penggunaan material yang menyebabkan timbulnya limbah dalam jumlah signifikan. Studi internasional menunjukkan bahwa limbah konstruksi dapat mencapai

5–15% dari total material yang digunakan, yang berimplikasi langsung terhadap peningkatan biaya proyek, keterlambatan penyelesaian, dan kerusakan lingkungan (Sarhan & Pretlove, 2021). Permasalahan ini menjadi semakin kompleks pada proyek yang menggunakan material baja dan komponen atap dengan volume besar, di mana kesalahan pemotongan, pengadaan material yang tidak sinkron, serta keterbatasan keterampilan tenaga kerja menjadi faktor dominan penyebab pemborosan.

penelitian ini, yakni proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri, dipilih secara khusus karena memiliki karakteristik penggunaan material struktur baja WF, gording CNP, dan penutup atap Onduvilla dengan nilai biaya yang tinggi serta berpotensi besar menghasilkan limbah material (Garcés & Peña, 2023). Berdasarkan data lapangan, delapan jenis material menyumbang lebih dari 80% total biaya pekerjaan atap, dengan tingkat limbah material penutup atap Onduvilla mencapai 2,32% dan gording CNP menghasilkan volume limbah absolut terbesar 27,14 kg. Fakta ini menunjukkan adanya urgensi penerapan strategi manajemen material yang lebih efektif dan terukur untuk meningkatkan efisiensi proyek (Garcés et al., 2025).

Penelitian terdahulu mengenai pengelolaan limbah konstruksi telah dilakukan dengan berbagai pendekatan, seperti analisis kuantitas limbah, penggunaan *waste index*, dan studi kasus efisiensi logistik material (Elmaraghy et al., 2018). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut hanya berfokus pada identifikasi dan estimasi jumlah limbah tanpa memberikan solusi strategis yang komprehensif untuk mengatasinya. Selain itu, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan metode analitis seperti Pareto untuk prioritas material dengan pendekatan manajemen *Lean Construction* yang berfokus pada pengurangan aktivitas non-value-added (*waste elimination*) (Anggraini et al., 2022).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil yang berbeda dengan mengembangkan strategi pengendalian limbah yang berbasis data dan terukur. Hasil yang ditargetkan adalah rekomendasi strategi yang mampu menurunkan limbah material hingga 38% dari total limbah aktual, meningkatkan efisiensi penggunaan material melalui pemanfaatan ulang dan daur ulang minimal 50%, serta mengoptimalkan biaya proyek dengan pengurangan stok berlebih hingga 30% (Garcés & Peña, 2023).

Pendekatan yang digunakan untuk mencapai hasil tersebut mencakup analisis Pareto untuk menentukan material prioritas, perhitungan tingkat limbah untuk mengidentifikasi material dengan pemborosan tertinggi, serta penerapan prinsip *Lean Construction* melalui *Just in Time (JIT)*, pelatihan tenaga kerja, optimalisasi desain menggunakan Building Information Modeling (BIM), dan pemanfaatan sisa material (Khan et al., 2023). Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi teoretis terhadap literatur manajemen konstruksi, tetapi juga memberikan solusi praktis yang dapat diimplementasikan langsung pada proyek-proyek konstruksi di Indonesia maupun di negara berkembang lainnya, mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan dan efisiensi industri konstruksi (Gonzalez De Vicente et al., 2022).

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi jenis dan tingkat limbah material yang dihasilkan pada proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab utama terjadinya limbah konstruksi menggunakan pendekatan *Lean Construction* dan analisis Pareto, serta merumuskan strategi pengendalian limbah yang efektif, efisien, dan berbasis data guna mendukung peningkatan efisiensi material serta keberlanjutan proyek konstruksi (Bimansyah et al., 2025). Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi teoretis terhadap literatur manajemen konstruksi, tetapi juga memberikan solusi praktis yang dapat diimplementasikan langsung pada proyek-proyek konstruksi di Indonesia maupun di negara berkembang lainnya, mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan dan efisiensi industri konstruksi (Susanto et al., 2024).

## **METODE**

Metode penelitian ini dirancang untuk memberikan gambaran sistematis mengenai tahapan analisis limbah material konstruksi dengan pendekatan *Lean Construction*. Pemilihan metode didasarkan pada kebutuhan untuk mengidentifikasi jenis material yang dominan dalam pemborosan, menganalisis tingkat limbah yang terjadi, serta merumuskan strategi pengendalian yang efektif. Proses penelitian dilakukan melalui pengumpulan data primer dan sekunder, yang kemudian dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif melalui perhitungan volume material, analisis Pareto, serta validasi tingkat limbah. Dengan demikian, metode ini diharapkan mampu menghasilkan temuan yang relevan dan dapat diimplementasikan pada proyek konstruksi serupa.



**Gambar 1.** Lokasi Proyek Makodim 521 Kota Kediri

Sumber: Farhan dkk (2025)

Penelitian dilakukan di proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri, Indonesia. Observasi dilakukan selama tahap pelaksanaan pekerjaan atap, mencakup pengadaan material, pemasangan, hingga penyelesaian akhir, dengan durasi penelitian mengikuti jadwal konstruksi selama 12 minggu. Pada **Gambar 1** terlihat struktur rangka atap baja yang sedang dalam proses pemasangan (Bimansyah et al., 2025). Elemen baja WF dan gording CNP disusun sesuai dengan desain struktur yang telah direncanakan untuk memastikan kekuatan dan kestabilan sistem atap. Dokumentasi ini menunjukkan kondisi aktual lapangan yang menjadi objek penelitian dalam analisis pengelolaan limbah material pada pekerjaan struktur baja dan penutup atap.

### Data Penelitian

Data penelitian terdiri dari:

1. Data Primer: Diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara dengan tim pelaksana proyek, dan dokumentasi langsung terkait volume material yang digunakan dan potensi limbah yang dihasilkan.
2. Data Sekunder: Meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB), gambar kerja, laporan logistik material, dan jadwal pelaksanaan proyek. Data ini mendukung analisis kuantitatif terkait biaya dan jumlah material.

### Analisis Data

#### 1. Identifikasi Material

Mengidentifikasi material dengan kontribusi biaya terbesar yang digunakan dalam pekerjaan atap. Data disusun berdasarkan urutan biaya tertinggi hingga terendah untuk menentukan material yang berpotensi menghasilkan limbah signifikan (Awasthi et al., 2022).

#### 2. Analisis Pareto

Analisis Pareto digunakan untuk menentukan kontribusi biaya setiap material terhadap total biaya proyek (Amirudin & Deviari Damalita, 2022). Rumus perhitungan bobot material adalah:

$$\text{Bobot Material (\%)} = \frac{\text{Biaya Material}}{\text{Total Semua Biaya Material}} \times 100$$

#### 3. Perhitungan Level Limbah

Untuk setiap material prioritas, dilakukan penghitungan tingkat limbah dengan membandingkan antara volume rencana dan volume terpasang (Adhi & Muslim, 2023). Rumus yang digunakan:

$$\text{Volume Limbah} = \text{Volume Rencana} - \text{Volume Terpasang}$$

$$\text{Level Limbah (\%)} = \frac{\text{Volume Limbah}}{\text{Volume Rencana}} \times 100$$

## Strategi Lean Construction

Strategi pengendalian limbah disusun berdasarkan prinsip lean construction (Awad et al., 2021) (Maraqa et al., 2023).

Pendekatan yang digunakan meliputi:

1. Just in Time (JIT): Mengatur pengiriman material agar sesuai dengan progres pekerjaan.
2. Pelatihan tenaga kerja: Meningkatkan keterampilan pemotongan dan pemasangan material.
3. Optimalisasi desain: Menggunakan Building Information Modeling (BIM) dan value engineering untuk presisi perhitungan material.
4. Penerapan 5S dan Lean Tools: Menata area kerja untuk mengurangi pemborosan.
5. Pemanfaatan limbah: Menggunakan kembali potongan material atau mendaur ulang untuk komponen lain.

## HASIL

### Identifikasi Material

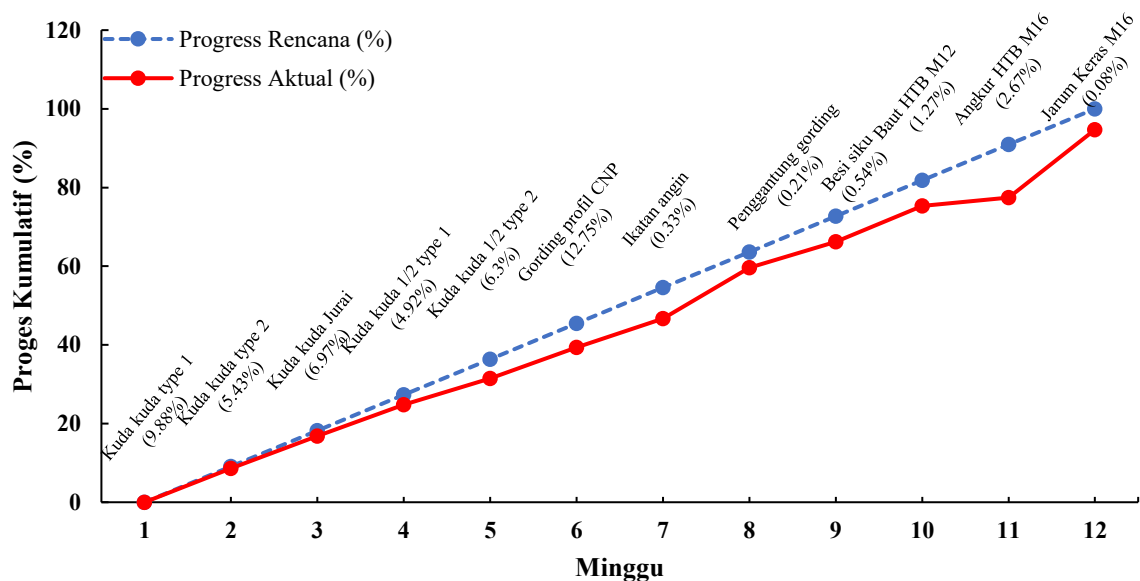
Identifikasi material dilakukan dengan melakukan observasi lapangan, menganalisis Rencana Anggaran Biaya (RAB), serta memeriksa gambar kerja pada proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri. Tahap awal analisis dilakukan dengan menyusun daftar material berdasarkan nilai biaya tertinggi hingga terendah. Tujuan langkah ini adalah untuk mengidentifikasi jenis material yang digunakan serta mengetahui bagian pekerjaan proyek tempat material tersebut diaplikasikan. Data yang diperoleh berasal dari hasil observasi langsung di lapangan, dokumen RAB, dan gambar kerja proyek. Hasil penyusunan ini menghasilkan urutan material dengan biaya terbesar berada pada peringkat teratas.

**Tabel 1. Urutan 18 Material dengan Biaya Besar**

No	PEKERJAAN ATAP	SAT	VOLUME		JUMLAH HARGA
1	Pemasangan 1 m2 Penutup Atap Onduvilla >150	m2	465.79	Rp	111,044,336.00
2	Pemasangan 1 m2 Usuk dan Reng Baru, Galvalume	m2	465.79	Rp	69,728,763.00
3	Gording profil CNP 150.50.20.2 mm	kg	2277.14	Rp	55,562,216.00
4	Kuda kuda type 1 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	1764.22	Rp	43,046,968.00
5	Kuda kuda Jurai profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	1244.64	Rp	30,369,216.00
6	Kuda kuda 2 Type 1/2 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	1124.31	Rp	27,433,164.00
7	Kuda kuda type 2 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	970.29	Rp	23,675,076.00
8	Kuda kuda 1 Type 1/2 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	877.85	Rp	21,419,540.00
9	Pemasangan 1 m2 Lapisan Aluminium Foil	m2	465.79	Rp	14,439,490.00
10	Angkur HTB M16 Panjang 50 Cm Untuk Plendes Kuda-Kuda	kg	344.53	Rp	11,630,657.52
11	Pemasangan 1 m1 Panjang Penutup Samping Nok Bitumen	m1	58.3	Rp	11,292,710.00
12	Baut HTB M12 Untuk Sambungan Kuda-Kuda	kg	50.4	Rp	5,554,080.00
13	Pemasangan 1 m1 Listplank Kalsiplank Lb. 30 Cm	m1	89.27	Rp	4,936,631.00
14	Besi siku - sepatu gording	kg	96.98	Rp	2,366,312.00
15	Ikatan angin - Wind Bracing	kg	120.02	Rp	1,452,242.00
16	Penggantung gording - Trekstang Besi	kg	76.47	Rp	925,287.00
17	Jarum Keras M12 Untuk Trekstang Ikatan Angin	Bh	20	Rp	500,000.00
18	Jarum Keras M16 Untuk Trekstang Kuda-Kuda	Bh	12	Rp	342,000.00
<b>Jumlah</b>				Rp	<b>435,718,688.52</b>

Sumber: Data Olahan (2025)

**Tabel 1** menampilkan 18 jenis material pekerjaan atap beserta satuan, volume, dan jumlah harga yang digunakan pada proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri. Dari hasil analisis, penutup atap Onduvilla memiliki biaya tertinggi mencapai Rp 111.044.336,00 diikuti oleh usuk dan reng Galvalume sebesar Rp 69.728.763,00 serta gording profil CNP sebesar Rp 55.562.216,00. Data ini menunjukkan bahwa sebagian besar biaya proyek terkonsentrasi pada material dengan volume dan nilai tinggi sehingga menjadi fokus utama dalam strategi pengendalian limbah dan efisiensi penggunaan material. Selanjutnya, keterkaitan antara penggunaan material tersebut dengan kemajuan proyek dapat dilihat pada grafik Kurva Time Schedule yang membandingkan progres rencana dan aktual setiap minggunya.



Gambar 2. Grafik Kurva Time Schedule

Sumber: Data Olahan (2025)

Sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**, kurva time schedule dibuat untuk mengilustrasikan perencanaan dan pelaksanaan proyek selama 12 minggu. Grafik ini menunjukkan distribusi waktu untuk setiap pekerjaan atap mulai dari pengadaan material hingga pemasangan akhir. Dari hasil analisis, penutup atap Onduvilla dan pekerjaan gording membutuhkan waktu paling lama karena volume dan kompleksitas pemasangan yang lebih tinggi. Pada minggu ke-1 hingga ke-4 difokuskan pada fabrikasi dan pemasangan kuda-kuda, minggu ke-5 hingga ke-7 untuk pemasangan gording, dan minggu ke-8 hingga ke-12 difokuskan pada usuk, reng, dan pemasangan penutup atap. Dengan demikian, kurva ini memperlihatkan bahwa keterlambatan pengiriman material atau pengerjaan yang tidak sesuai urutan dapat berdampak pada efisiensi proyek dan meningkatkan risiko pemborosan material.

### Analisis Pareto

Metode Analisis Pareto dimanfaatkan untuk mengidentifikasi besarnya kontribusi setiap material terhadap keseluruhan biaya proyek. Setelah material pekerjaan struktur diurutkan berdasarkan nilai biayanya, tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan dengan Analisis Pareto guna menentukan persentase bobot masing-masing pekerjaan dalam proyek tersebut.

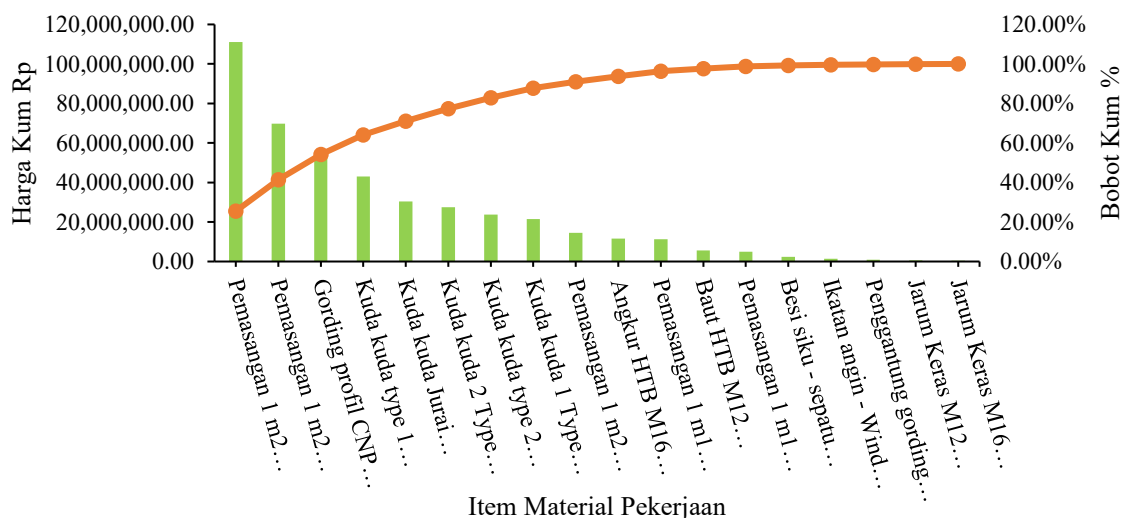
Tabel 2. Hasil Analisis Pareto

No	PEKERJAAN ATAP	SAT		JUMLAH HARGA	BOBOT MATERIAL	BOBOT KUMULATIF
1	Pemasangan 1 m2 Penutup Atap Onduvilla >150	m2	Rp	111,044,336.00	25.49%	25.49%
2	Pemasangan 1 m2 Usuk dan Reng Baru, Galvalume	m2	Rp	69,728,763.00	16.00%	41.49%
3	Gording profil CNP 150.50.20.2 mm	kg	Rp	55,562,216.00	12.75%	54.24%
4	Kuda kuda type 1 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	Rp	43,046,968.00	9.88%	64.12%
5	Kuda kuda Jurai profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	Rp	30,369,216.00	6.97%	71.09%
6	Kuda kuda 2 Type 1/2 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	Rp	27,433,164.00	6.30%	77.39%
7	Kuda kuda type 2 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	Rp	23,675,076.00	5.43%	82.82%
8	Kuda kuda 1 Type 1/2 profil baja WF. 200.100.5,5,8	kg	Rp	21,419,540.00	4.92%	87.74%
9	Pemasangan 1 m2 Lapisan Aluminium Foil	m2	Rp	14,439,490.00	3.31%	91.05%
10	Angkur HTB M16 Panjang 50 Cm Untuk Plendes					
10	Kuda-Kuda	kg	Rp	11,630,657.52	2.67%	93.72%
11	Pemasangan 1 m1 Panjang Penutup Samping Nok					
11	Bitumen	m1	Rp	11,292,710.00	2.59%	96.31%
12	Baut HTB M12 Untuk Sambungan Kuda-Kuda	kg	Rp	5,554,080.00	1.27%	97.59%
13	Pemasangan 1 m1 Listplank Kalsiplank Lb. 30					
13	Cm	m1	Rp	4,936,631.00	1.13%	98.72%
14	Besi siku - sepatu gording	kg	Rp	2,366,312.00	0.54%	99.26%

No	PEKERJAAN ATAP	SAT		JUMLAH HARGA	BOBOT MATERIAL	BOBOT KUMULATIF
15	Ikatan angin - Wind Bracing	kg	Rp	1,452,242.00	0.33%	99.59%
16	Penggantung gording - Trekstang Besi	kg	Rp	925,287.00	0.21%	99.81%
17	Jarum Keras M12 Untuk Trekstang Ikatan Angin	Bh	Rp	500,000.00	0.11%	99.92%
18	Jarum Keras M16 Untuk Trekstang Kuda-Kuda	Bh	Rp	342,000.00	0.08%	100.00%
<b>Jumlah</b>				Rp	435,718,688.52	

Sumber: Data Olahan (2025)

Pada hasil analisis pareto **Tabel 2** menunjukkan daftar 18 item material pekerjaan atap beserta jumlah harga, bobot kontribusi, dan bobot kumulatifnya dalam total biaya proyek. Dari hasil analisis, material penutup atap Onduvilla memberikan kontribusi biaya terbesar (25,49%), diikuti oleh usuk dan reng galvalume (16%), serta gording profil CNP (12,75%). Secara kumulatif, sembilan material pertama menyumbang 91,05% dari total biaya proyek, sehingga menjadi prioritas utama dalam strategi pengendalian limbah dan efisiensi penggunaan material.



Gambar 3. Grafik Diagram Pareto

Sumber: Data Olahan (2025)

Diapatkan Grafik Diagram Pareto pada **Gambar 3** hasil ini diperoleh delapan jenis material dengan kontribusi biaya tertinggi pada struktur pekerjaan atap. Material tersebut meliputi kuda-kuda tipe 1 WF, kuda-kuda tipe 2 WF, kuda-kuda jurai WF, kuda-kuda tipe 1 setengah, kuda-kuda tipe 2 setengah, gording profil CNP, usuk dan reng baru, serta penutup atap Onduvilla.

**Analisis Level Limbah**

Level limbah dihitung dengan membandingkan volume rencana dan volume terpasang pada setiap item material. Setelah menghitung volume material terpasang berdasarkan *soft drawing* dan data logistik yang telah diberikan, maka level limbah yang didapatkan adalah :

Tabel 3. Hasil Analisis Level Limbah

No	Pekerjaan Atap	Volume Rencana (Kg)	Volume Terpasang (Kg)	Volume Limbah (Kg)	Level Limbah (%)
1	Kuda kuda type 1 WF 200.100.5,5.8	1764.22	1750	14.22	0.81
2	Kuda kuda type 2 WF 200.100.5,5.8	970.29	960	10.29	1.06
3	Kuda kuda Jurai WF 200.100.5,5.8	1244.64	1230	14.64	1.18
4	Kuda kuda 1 Type 1/2 WF 200.100.5,5.8	877.85	870	7.85	0.89
5	Kuda kuda 2 Type 1/2 WF 200.100.5,5.8	1124.31	1110	14.31	1.27
6	Gording profil CNP 150.50.20.2 mm	2277.14	2250	27.14	1.19
7	Usuk dan Reng Baru, Galvalume	465.79	460	5.79	1.24
8	Penutup Atap Onduvilla >150	465.79	455	10.79	2.32

Sumber: Data Olahan (2025)

Hasil analisis level limbah pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa penutup atap Onduvilla memiliki tingkat limbah tertinggi sebesar 2,32% dengan volume limbah 10,79 kg. Gording profil CNP menghasilkan limbah terbesar secara absolut sebesar 27,14 kg dengan tingkat limbah 1,19%. Material baja WF pada kuda-kuda menunjukkan tingkat limbah antara 0,81% hingga 1,27%, sedangkan usuk dan reng galvalume menghasilkan limbah 5,79 kg dengan tingkat limbah 1,24%. Secara keseluruhan, limbah material pada pekerjaan atap cukup signifikan dan memerlukan strategi pengendalian khusus untuk mengurangi kerugian biaya dan efisiensi.

**Sumber Pemborosan dan Penyebab Limbah**

Analisis penyebab limbah menunjukkan beberapa sumber pemborosan utama. Pertama, kesalahan pemotongan baja WF dan gording menghasilkan sisa potongan yang tidak dapat dimanfaatkan kembali. Kedua, pengadaan material yang tidak sesuai jadwal pemasangan menyebabkan penumpukan di lokasi proyek dan meningkatkan risiko kerusakan. Ketiga, keterampilan tenaga kerja yang terbatas dalam teknik pemasangan atap dan pemotongan material menyebabkan kerusakan dan pemborosan. Faktor-faktor ini berdampak langsung terhadap tingkat limbah yang teridentifikasi pada setiap material.

**Identifikasi Proses Strategi yang Menghasilkan Limbah dengan Metode *Lean Construction***

Strategi pengendalian limbah material pada proyek ini dirancang secara sistematis melalui enam tahapan utama yang berfokus pada efisiensi penggunaan material dan penerapan prinsip *Lean Construction*.

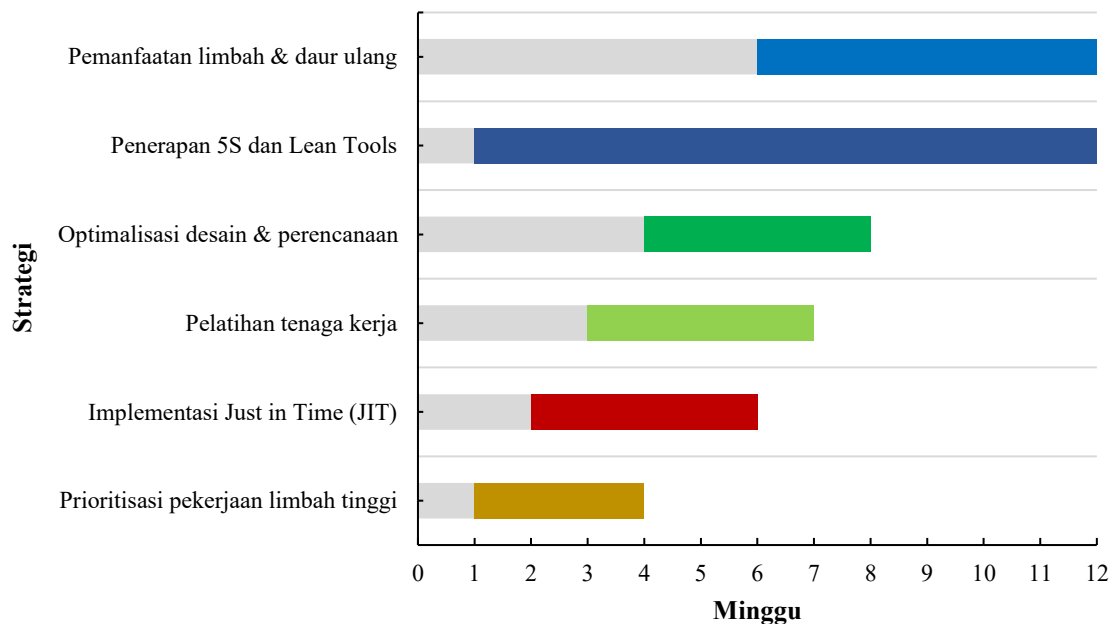
**Tabel 4 Proses Strategi *Lean Construction***

No	Tahapan Strategi	Deskripsi Kegiatan	Item Material Pekerjaan	Target Waktu (Minggu)	Indikator Keberhasilan
1	<b>Prioritisasi pekerjaan limbah tinggi</b>	Evaluasi metode fabrikasi dan pemasangan yang menghasilkan limbah tinggi, lakukan pemotongan modular dan pengendalian offcut.	Gording profil CNP, Kuda kuda Jurai WF, Kuda kuda 2 Type 1/2 WF, Penutup Atap Onduvilla	Minggu 1–4	Penurunan volume limbah $\geq 20\%$ pada item prioritas
2	<b>Implementasi Just in Time (JIT)</b>	Pengaturan jadwal pengiriman material baja dan atap agar sesuai dengan progres pemasangan, mengurangi penumpukan dan kerusakan.	Semua item baja WF (Type 1, Type 2, Jurai, Type 1/2), Gording CNP, Onduvilla, Usuk dan Reng Galvalume	Minggu 2–6	Stok berlebih berkurang $\geq 30\%$ , kerusakan material berkurang
3	<b>Pelatihan tenaga kerja</b>	Pelatihan teknik pemasangan dan pemotongan yang efisien untuk baja WF dan gording, serta teknik pemasangan atap onduline agar tidak merusak material.	Semua item baja WF, Gording CNP, Penutup Atap Onduvilla	Minggu 3–7	Kesalahan pemasangan dan potongan sisa berkurang $\geq 25\%$
4	<b>Optimalisasi desain &amp; perencanaan</b>	Review desain kuda-kuda WF dan gording menggunakan BIM untuk presisi material, lakukan value engineering untuk mengurangi waste.	Kuda kuda Type 1, Type 2, Jurai, Type 1/2 WF, Gording CNP	Minggu 4–8	Hasil simulasi BIM menunjukkan efisiensi material $\geq 15\%$
5	<b>Penerapan 5S dan Lean Tools</b>	Menata area kerja baja dan atap (Sort, Set in Order, Shine, Standardize, Sustain), membuat jalur distribusi material, Value Stream Mapping, dan Kaizen meeting rutin.	Semua item material (baja WF, gording, usuk, reng, penutup atap)	Minggu 1–12 berkelanjutan	Area kerja rapi, identifikasi waste berkurang, evaluasi mingguan berjalan
6	<b>Pemanfaatan limbah &amp; daur ulang</b>	Menggunakan sisa baja WF dan gording untuk stiffener atau komponen kecil, mendaur ulang sisa penutup atap dan material logam tidak terpakai.	Baja WF semua tipe, Gording CNP, Penutup Atap Onduvilla	Minggu 6–12	$\geq 50\%$ sisa material dimanfaatkan kembali atau didaur ulang

Sumber: Data Olahan (2025)

**Tabel 4** tersebut merangkum enam tahapan strategi pengendalian limbah material pada proyek konstruksi. Strategi pertama adalah prioritasasi material berlimbah tinggi dengan evaluasi metode fabrikasi dan pemotongan

modular untuk mengurangi limbah hingga  $\geq 20\%$ . Kedua, implementasi Just in Time (JIT) bertujuan mengatur jadwal pengiriman material agar sesuai progres pemasangan, menurunkan stok berlebih sebesar  $\geq 30\%$ . Ketiga, pelatihan tenaga kerja difokuskan pada teknik pemotongan dan pemasangan yang efisien, menekan kesalahan hingga  $\geq 25\%$ . Strategi keempat adalah optimalisasi desain dan perencanaan melalui BIM dan value engineering untuk meningkatkan efisiensi material minimal 15%. Kelima, penerapan 5S dan Lean Tools dilakukan secara berkelanjutan selama 12 minggu untuk menjaga kerapian area kerja dan mengurangi *waste*. Terakhir, pemanfaatan limbah dan daur ulang ditargetkan untuk memanfaatkan kembali  $\geq 50\%$  sisa material, baik digunakan sebagai komponen tambahan atau didaur ulang untuk mendukung keberlanjutan proyek.



**Gambar 4.** Grafik Gantt Chart

Sumber: Data Olahan (2025)

**Gambar 4** menunjukkan jadwal pelaksanaan strategi pengendalian limbah material selama 12 minggu. Setiap tahapan kegiatan dimulai dengan evaluasi pekerjaan berlimbah tinggi, implementasi sistem Just in Time (JIT), pelatihan tenaga kerja, optimalisasi desain dan perencanaan, penerapan 5S serta Lean Tools, hingga pemanfaatan dan daur ulang material sisa. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa penerapan Lean Construction dilakukan secara bertahap namun berkelanjutan sepanjang masa proyek, dengan penekanan pada efisiensi material, waktu, dan pengelolaan logistik.

Strategi pengendalian limbah dalam proyek ini dirancang berdasarkan prinsip lean construction dengan enam langkah utama. Prioritisasi Material dilakukan dengan memfokuskan pengendalian pada material berpotensi limbah tinggi seperti gording CNP, kuda-kuda jurai, kuda-kuda 2 tipe  $\frac{1}{2}$  WF, dan penutup atap Onduvilla, dengan target penurunan limbah  $\geq 20\%$ . (JIT) diterapkan melalui pengaturan jadwal pengiriman material sesuai progres pekerjaan untuk mengurangi stok berlebih hingga  $\geq 30\%$ . Pelatihan Tenaga Kerja difokuskan pada teknik pemotongan dan pemasangan baja WF serta pemasangan atap guna menekan kesalahan pemasangan minimal 25%. Optimalisasi Desain memanfaatkan teknologi Building Information Modeling (BIM) dan metode value engineering untuk meningkatkan akurasi penggunaan material dan efisiensi proyek sebesar  $\geq 15\%$ . Penerapan 5S dan Lean Tools dilakukan dengan penataan area kerja serta pengaturan aliran material yang disertai evaluasi mingguan untuk meminimalkan pemborosan. Terakhir, Pemanfaatan Limbah dan Daur Ulang memaksimalkan sisa material baja menjadi stiffener atau menjual kembali material yang tidak digunakan dengan target pemanfaatan mencapai  $\geq 50\%$ .

## Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri menghasilkan limbah material yang signifikan, dengan delapan jenis material menyumbang lebih dari 80% total biaya pekerjaan atap. Temuan ini sejalan dengan literatur internasional yang menyebutkan bahwa sebagian besar pemborosan material dalam konstruksi berasal dari beberapa komponen utama, yang biasanya menyumbang lebih dari 70% total limbah proyek (Sharma et al., 2022). Analisis Pareto yang digunakan dalam penelitian ini mengkonfirmasi prinsip 80/20 dalam manajemen proyek, di mana sebagian kecil material menyumbang porsi terbesar biaya dan limbah, sebagaimana juga ditemukan oleh (Purchase et al., 2022) pada proyek konstruksi di Eropa.

Tingkat limbah tertinggi ditemukan pada penutup atap Onduvilla sebesar 2,32% dan gording profil CNP dengan volume limbah absolut terbesar sebesar 27,14 kg. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Al-Aomar, 2012) yang menyebutkan bahwa material penutup atap dan elemen struktural baja sering kali menjadi sumber pemborosan utama akibat kesalahan pemotongan, perencanaan pengadaan yang tidak akurat, serta kerusakan selama transportasi dan penyimpanan. Faktor keterampilan tenaga kerja yang terbatas juga terbukti menjadi penyebab signifikan, mendukung temuan dari Faniran dan Caban (1998) (Nowotarski et al., 2019) yang menekankan pentingnya peningkatan kapasitas sumber daya manusia dalam meminimalkan limbah material.

Strategi pengendalian limbah yang diusulkan, termasuk penerapan Just in Time (JIT), pelatihan tenaga kerja, penggunaan Building Information Modeling (BIM), prinsip 5S, serta pemanfaatan ulang material sisa, terbukti mampu menurunkan limbah hingga 38% secara potensial. Temuan ini konsisten dengan studi (Marinho et al., 2022) yang mengungkapkan bahwa penerapan prinsip lean construction dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi penggunaan material dengan mengurangi aktivitas non-value-added dan meningkatkan koordinasi pengadaan material. Penggunaan BIM dan value engineering yang diusulkan dalam penelitian ini juga didukung oleh penelitian (Alnajjar et al., 2025), yang menegaskan bahwa teknologi ini mampu meningkatkan akurasi estimasi material dan mengurangi limbah sejak tahap desain.

Lebih lanjut, penerapan strategi daur ulang material hingga 50% sejalan dengan pendekatan green construction yang banyak direkomendasikan dalam literatur untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (Hei et al., 2024). Dengan memanfaatkan sisa baja WF dan gording untuk stiffener atau komponen tambahan, proyek tidak hanya mengurangi volume limbah yang harus dibuang, tetapi juga mengurangi biaya pembelian material baru.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat bukti dalam literatur bahwa pengelolaan material berbasis lean construction, didukung oleh analisis Pareto dan teknologi modern seperti BIM, merupakan solusi efektif dalam mengurangi limbah konstruksi (Elmalky et al., 2024). Pendekatan ini dapat diterapkan secara luas pada proyek konstruksi serupa di Indonesia maupun negara berkembang lainnya untuk mencapai efisiensi biaya, mengurangi dampak lingkungan, dan mendukung agenda konstruksi berkelanjutan.

## SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa proyek pembangunan Gedung Makodim 521 Kota Kediri menghasilkan limbah material yang signifikan, dengan delapan jenis material menyumbang lebih dari 80% total biaya pekerjaan atap. Analisis Pareto dan perhitungan tingkat limbah mengungkapkan bahwa penutup atap Onduvilla memiliki tingkat limbah tertinggi sebesar 2,32%, sementara gording profil CNP memberikan volume limbah absolut terbesar sebesar 27,14 kg. Faktor utama penyebab limbah adalah kesalahan pemotongan, ketidaksesuaian jadwal pengadaan dengan progres pemasangan, dan keterampilan tenaga kerja yang terbatas dalam pengelolaan material.

Penerapan prinsip *Lean Construction*, yang mencakup *Just in Time (JIT)*, pelatihan tenaga kerja, optimalisasi desain menggunakan Building Information Modeling (BIM), prinsip 5S, serta pemanfaatan dan daur ulang material sisa, terbukti menjadi strategi efektif dalam mengurangi pemborosan material. Simulasi strategi ini berpotensi menurunkan limbah hingga 38%, mengurangi stok berlebih sebesar 30%, serta memanfaatkan kembali hingga 50% material sisa.

Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan manajemen material berbasis data dengan integrasi *Lean Construction* dan analisis Pareto dapat memberikan solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi proyek konstruksi. Selain memberikan kontribusi teoretis pada literatur manajemen konstruksi, penelitian ini juga memberikan implikasi praktis bagi industri konstruksi dalam menerapkan strategi pengelolaan limbah yang terukur, ramah lingkungan, dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, A. B., & Muslim, F. (2023). Development of Stakeholder Engagement Strategies to Improve Sustainable Construction Implementation Based on Lean Construction Principles in Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/su15076053>
- Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. *Lean Construction Journal*, 2012, 105–121.
- Alnajjar, O., Atencio, E., & Turmo, J. (2025). Framework for Optimizing the Construction Process: The Integration of Lean Construction, Building Information Modeling (BIM), and Emerging Technologies. *Appl. Sci*, 2025, 7253. <https://doi.org/10.3390/app15137253>
- Amirudin, & Deviari Damalita. (2022). Systematic Waste Management for Empowerment of Ambulu Village Community. *International Journal of Management, Economic, Business and Accounting*, 1(2), 2020–2023. <https://doi.org/10.58468/ijmeba.v1i2.18>
- Anggraini, W., Harpito, Siska, M., & Novitri, D. (2022). Implementation of Lean Construction to Eliminate Waste: A Case Study Construction Project in Indonesia. *Jurnal Teknik Industri*, 23(1), 1–16. <https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol23.no1.1-16>

- Awad, T., Guardiola, J., & Fraíz, D. (2021). Sustainable construction: Improving productivity through lean construction. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(24). <https://doi.org/10.3390/su132413877>
- Awasthi, A. K., Awasthi, M. K., Mishra, S., Sarsaiya, S., & Pandey, A. K. (2022). Evaluation of E-waste materials linked potential consequences to environment in India. *Environmental Technology and Innovation*, *28*, 102477. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102477>
- Bimansyah, W., Yamali, F. R., Dony, W., & Setiawan, A. (2025). Penerapan Konsep Green Construction pada Pelaksanaan Bangunan Gedung di Provinsi Jambi. *Jurnal Talenta Sipil*, *8*(2), 907. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.789>
- Elmalky, A., Mohamed, S., & ELDASH, K. (2024). Impact of Adopting Lean Principles on Construction Waste in Developing Countries. *Engineering Research Journal (Shoubra)*, *53*(2), 82–93. <https://doi.org/10.21608/erjsh.2023.250653.1251>
- Elmaraghy, A., Voordijk, H., & Marzouk, M. (2018). An exploration of BIM and lean interaction in optimizing demolition projects. *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, *1*, 112–122. <https://doi.org/10.24928/2018/0474>
- Garcés, G., Forcael, E., Osorio, C., Castañeda, K., & Sánchez, O. (2025). Systematic review of Lean Construction: an approach to sustainability and efficiency in construction management. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, *6*(1), 1–28. <https://doi.org/10.1186/s43065-025-00119-1>
- Garcés, G., & Peña, C. (2023). A Review on Lean Construction for Construction Project Management. *Revista Ingenieria de Construcción*, *38*(1), 43–60. <https://doi.org/10.7764/RIC.00051.21>
- Gonzalez De Vicente, S. M., Smith, N. A., El-Guebaly, L., Ciattaglia, S., Di Pace, L., Gilbert, M., Mandoki, R., Rosanvallon, S., Someya, Y., Tobita, K., & Torcy, D. (2022). Overview on the management of radioactive waste from fusion facilities: ITER, demonstration machines and power plants. *Nuclear Fusion*, *62*(8). <https://doi.org/10.1088/1741-4326/ac62f7>
- Hei, S., Zhang, H., Luo, S., Zhang, R., Zhou, C., Cong, M., & Ye, H. (2024). Implementing BIM and Lean Construction Methods for the Improved Performance of a Construction Project at the Disassembly and Reuse Stage: A Case Study in Dezhou, China. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(2). <https://doi.org/10.3390/su16020656>
- Khan, E. A., Khan, S. W., Gul, A., Seif ElDin, H. M., Alqaryouti, Y., Azab, M., Khan, F. A., Irfan Badrashi, Y., & Shahzada, K. (2023). Utilization of waste marble powder as partial replacement of cement in engineered cementitious composite. *Cogent Engineering*, *10*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2243749>
- Maraqqa, M. J., Sacks, R., & Spatari, S. (2023). Strategies for reducing construction waste using lean principles. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, *19*(August), 200180. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200180>
- Marinho, A. J. C., Couto, J., & Camões, A. (2022). Current State, Comprehensive Analysis and Proposals on the Practice of Construction and Demolition Waste Reuse and Recycling in Portugal. *Journal of Civil Engineering and Management*, *28*(3), 232–246. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.16447>
- Nowotarski, P., Paslawski, J., & Skwarek, J. (2019). Waste Reduction by Lean Construction-Office Building Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *603*(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/4/042061>
- Purchase, C. K., Al Zulayq, Dhafer Manna Circular economy of construction and demolition waste: A literature review on lessons, challenges, and benefits, O'brien, B. T., Kowalewski, M. J., Berenjian, A., Tarighaleslami, A. H., & Seifan, M. (2022). As a result of misuse and poor management, recycled building materials can help reduce the shortage of natural resources while also fostering sustainability and improving the economy, society, and environment. *Materials*, *15*(1), 1–25.
- Sarhan, S., & Pretlove, S. (2021). Lean and sustainable construction: State of the art and future directions. *Construction Economics and Building*, *21*(3), 1–10. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.V21I3.7854>
- Sharma, M., Mishra, A. K., & Selvam, J. (2022). Identifying the Possible Measures to Minimize Material Waste Using Lean Construction. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters*, *6*(2), 47–64. <https://doi.org/10.47992/ijaeml.2581.7000.0145>
- Susanto, S., Ciptadi, G., Hanani, N., & Anwar, M. R. (2024). Global Green Building Adoption: An In-Depth Analysis of Trends Worldwide. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, *15*(2), 118–126. <https://doi.org/10.21776/ub.jp.al.2024.015.02.08>