JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil
Vol. 7, No. 1, Februari 2024: hlm 137-148

EISSN 2622-545X

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS UNTUK MENENTUKAN FAKTOR DOMINAN PENYEBAB WASTE MATERIAL

Johanes Nicholas[1] dan Henny Wiyanto[2]

[1] Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
hennyw@ft.untar.ac.id

[2]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
johanes.325190033@stu.ac.id

Masuk: dd-mm-yyyy, revisi: dd-mm-yyyy, diterima untuk diterbitkan: dd-mm-yyyy

ABSTRACT

On every construction project, there will be waste materials that are not used and discarded, which is called a construction waste. Indonesia is a developing country where there are lots of ongoing and soon to be projects, that means there will be a lot of construction waste generated. The cause or source of these waste materials is categorized into four points which are design, material procurement, material handling, and execution. Most of the existing studies about construction waste uses statistic method. Therefore, this study uses Analytic Hierarchy Process (AHP) to process the data about the cause and source of construction waste. This method is chosen because AHP would facilitate the people in power to solve complex problems, and make considerations to face each affecting criteria, in order of the priority levels. This research shows that the biggest factor in generating construction waste material is the mistakes from the workers in the field, with the criteria weight of 15,5%. The second most influential factor is design changes with the criteria weight of 11,54%, followed by ordering the wrong specification of materials with the criteria weight of 11,41%. From the interviews conducted, it is known that the respondents have used some method of managing waste materials, including Eliminating Waste, Minimizing Waste, and Reusing Materials. Therefore, the construction projects are deemed sufficient in their effort of giving the appropriate amount of attention, corresponding with the priority of what generates waste materials.

Keywords: waste material; Analytic Hierarchy Process (*AHP*)

ABSTRAK

Pada setiap proyek pembangunan, akan ada sisa material yang tak terpakai dan dibuang, yang disebut limbah konstruksi (*construction waste*). Indonesia merupakan negara berkembang dimana terdapat banyak proyek konstruksi yang sedang dan akan berlangsung, sehingga akan ada banyak limbah konstruksi yang dihasilkan. Penyebab dan sumber dari sisa material konstruksi dikategorikan menjadi empat poin yaitu desain, pengadaan material, penanganan material, dan pelaksanaan. Sebagian besar penelitian yang sudah dilakukan untuk membahas tentang waste material konstruksi menggunakan metode statistik. Karena itu, penelitian ini akan menggunakan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk mengolah data penyebab dan sumber limbah konstruksi. Metode ini dipilih karena AHP dapat mempermudah pihak yang berkepentingan untuk memecahkan persoalan yang kompleks, dan melakukan pertimbangan untuk menghadapi kriteria-kriteria yang ada sesuai dengan tingkat prioritasnya. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa faktor penyebab yang paling berpengaruh dalam menghasilkan limbah konstruksi adalah kesalahan pekerja di lapangan dengan besar bobot 15,5%. Perubahan desain memiliki pengaruh kedua terbesar dengan besar bobot 11,54%, dan diikuti dengan pemesanan material yang tidak sesuai spesifikasi yang memiliki bobot sebesar 11,41%. Berdasarkan wawancara dengan narasumber, upaya yang telah dilakukan untuk menangani limbah konstruksi meliputi metode *Eliminating Waste, Minimizing Waste,* dan *Reusing Materials*. Karena itu, proyek pembangunan dinilai sudah memberikan perhatian yang cukup sesuai dengan prioritas faktor penyebab dihasilkannya limbah konstruksi.

Kata kunci: Limbah Konstruksi; *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Pada setiap proyek pembangunan, akan ada sisa material yang tak terpakai dan dibuang, yang disebut limbah konstruksi (*construction waste*). Bossink dan Brower (1996) memperkirakan bahwa 15 hingga 30% limbah padat yang dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) adalah limbah konstruksi. Indonesia merupakan negara berkembang dimana terdapat banyak proyek konstruksi yang sedang dan akan berlangsung, sehingga akan ada banyak limbah konstruksi yang dihasilkan.

Waste material atau *construction waste* tidak dihasilkan akibat satu faktor saja. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Purba (2015), penyebab dan sumber dari sisa material konstruksi dikategorikan menjadi empat poin yaitu desain, pengadaan material, penanganan material, dan pelaksanaan.

Penelitian yang sudah dilakukan untuk membahas tentang *waste material* konstruksi menggunakan metode statistik. Penelitian ini akan menggunakan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk mengolah data penyebab dan sumber waste material konstruksi. Menurut Maulana (2021), AHP adalah metode yang dapat diandalkan. Karena dengan AHP, prioritas disusun dari berbagai pilihan kriteria yang sebelumnya telah didekomposisi terlebih dahulu (terstruktur), sehingga penetapan prioritas didasarkan pada suatu proses yang terstruktur (hirarki) dan masuk akal. Jadi pada intinya, dengan susunan hirarki kriteria, AHP mempermudah pihak yang berkepentingan untuk memecahkan persoalan yang kompleks, dan dapat menarik berbagai pertimbangan untuk menghadapi masing-masing kriteria tersebut sesuai dengan tingkat prioritasnya.

Menurut Oliver (2022), kelebihan dari penggunaan metode AHP adalah mudah digunakan, membantu mencapai consensus, dapat mengolah data dari beberapa kriteria, mendukung konsistensi, dan mengurangi keputusan yang bias.

Waste material

Waste Material adalah sisa material yang tidak terpakai atau tidak bisa dipakai lagi karena alasan apapun. Menurut Tchobanoglous (1976), sisa material yang dihasilkan saat berjalannya konstruksi dapat dibagi menjadi dua yaitu *demolition waste* yang adalah sisa material yang berasal dari pembongkaran bangunan lama, dan *construtcion waste*, yang adalah sisa material dari pembangunan dan renovasi bangunan.

Construction Waste dapat digolongkan menjadi dua yaitu *Indirect Waste* dan *Direct Waste*. Menurut Skoyles (1976), *indirect waste* adalah sisa material yang dihasilkan akibat pemborosan atau kelebihan material yang direncanakan, sedangkan *direct waste* adalah sisa material yang dihasilkan akibat kerusakan dan tidak dapat diperbaiki atau digunakan kembali.

Limbah konstruksi adalah sisa material yang tidak terpakai atau rusak yang dihasilkan dari pelaksanaaan konstruksi, pembongkaran, pembersihan, dan pelaksanaan proyek. Menurut Devia (2010), waste material konstruksi dapat berupa semen, pasir, beton, besi, kayu, batu bata, dan keramik. Menurut Gavilian dan Bernold (1994), sisa material konstruksi dihasilkan karena satu atau kombinasi dari beberapa penyebab dan sumber.

Construction waste management

Menurut Ervianto (2010), *Construction Waste Management* adalah upaya untuk mengelola limbah konstruksi yang dapat menambah pemanfaatan bahan material bangunan. Menurut Napier (2016), cara mengelola limbah konstruksi dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu *eliminating waste*, *minimizing waste*, dan *reusing materials*.

Beberapa jenis limbah yang dihasilkan akibat proses konstruksi dapat dihilangkan. Contohnya penggunaan bekisting yang terbuat dari logam yang tahan lama dan dapat digunakan banyak kali dapat menggantikan bekisting kayu, sehingga limbah kayu yang berhubungan dengan bekisting dapat dihilangkan.

Proses pelaksanaan konstruksi pasti akan menghasilkan limbah, tapi jumlahnya dapat kita minimalisir dengan penggunaan material secara efisien. Contohnya pemilihan material dan desain dengan packaging yang minimal, serta disiplin dan awas dalam pelaksanaan agar tidak terjadi terlalu banyak kesalahan yang dapat menimbulkan lebih banyak limbah.

Bagaimanapun caranya untuk melaksanakan konstruksi secara efisien, terkadang timbulnya limbah atau sisa material tidak dapat dihindari. Karena itu, beberapa sisa material yang masih berkondisi cukup baik dapat diolah, didonasikan, atau dijual, agar bisa digunakan kembali sehingga tidak hanya menjadi limbah.

EISSN 2622-545X

Faktor penyebab *waste material konstruksi*

Menurut Purba (2015), penyebab sisa material konstruksi dapat digolongkan menjadi empat yaitu:

1. Desain: perubahan desain, informasi gambar atau pendetailan gambar yang rumit atau kurang jelas.
2. Pengadaan material: pemesanan yang tidak sesuai spesifikasi, melebihi kebutuhan karena kesalahan estimasi, atau pemesanan material yang tidak dapat dilakukan dalam jumlah yang sesuai karena adanya minimum order.
3. Penanganan material: ketidaktelitian pemeriksaan material dari supplier, atau penyimpanan yang kurang baik sehingga menyebabkan material rusak.
4. Pelaksanaan: kesalahan pekerja di lapangan yang menyebabkan material rusak, atau kurangnya perencanaan sehingga penggunaan material kurang efisien atau harus dilakukan pembongkaran.

Analytic hierarchy process

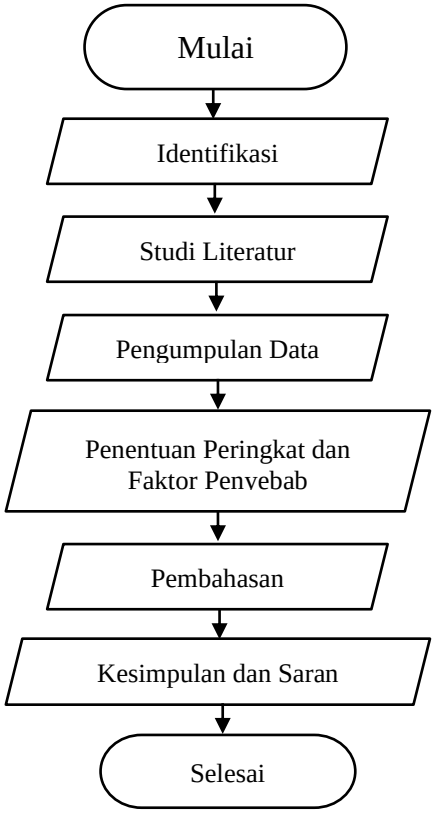
Analytic Hierarchy Process (AHP) adalah metode untuk menyusun dan menganalisa keputusan yang kompleks, yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty di tahun 1970an, dan telah dikembangkan lagi sejak saat itu. Menurut Wulandari (2014), AHP adalah salah satu metode yang baik digunakan untuk memilih kandidat atau mengurutkan prioritas karena beberapa hal, yaitu menggunakan kriteria-kriteria kualitatif yang sulit dikuantitatifkan dengan eksak, kriteria-kriteria tersebut dapat dibentuk menjadi hirarki, dan keputusan dapat dibuat oleh beberapa orang sekaligus, dan kandidat yang dipilih sudah ditentukan dan jumlahnya terbatas.

Menurut Parhusip (2019), kelebihan metode AHP adalah memiliki struktur yang berhierarki karena kriteria yang dipilih. Untuk setiap subkriteria, validitas responden diperhitungkan agar tetap berada dalam batas toleransi inkosistensi.

Prosedur *analytic hierarchy process*

Menurut Saaty (1993), terdapat tiga prinsip utama dalam pemecahan masalah menggunakan AHP yaitu *Decomposition*, *Comparative Judgement*, dan *Logical Concistency*. Tahapan Prosedur AHP meliputi dekomposisi masalah, penilaian/pembobotan, penyusunan matriks dan uji konsistensi, penetapan prioritas, sistesis dari prioritas, dan pengambilam/penetapan keputusan

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir

Identifikasi masalah

Objek penelitian ini adalah proyek konstruksi gedung bertingkat di Bogor dan DKI Jakarta.

Studi literatur

Jurnal-jurnal penelitian tentang *Waste Material, Analytic Hierarchy Process* dan topik terkait dikumpulkan untuk menambah wawasan serta referensi yang dapat digunakan untuk mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.

Pengumpulan data

Data yang dibutuhkan untuk penelitian diambil menggunakan wawancara dan kuisioner yang akan diberikan kepada pihak yang bekerja pada proyek pembangunan tersebut, yang berpengalaman dan paham tentang waste material konstruksi.

Penentuan peringkat faktor penyebab

Data yang terkumpul akan diproses menggunakan AHP. Metode AHP akan dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Membuat Tabel Matriks
2. Menormalisasi Tabel
3. Menentukan Nilai *Weighted Sum Value*
4. Menentukan Rasio Bobot Kriteria Dengan *Weighted Sum Value*
5. Menghitung Konsistensi

Membuat tabel matriks

Analytic Hierarchy Process menggunakan tabel matriks perbandingan untuk membandingkan bobot dari masing-masing kriteria secara berpasangan. Nilai atau bobot yang diberikan pada perbandingan pasangan kriteria disebut skala kepentingan relatif. Contoh nilai skala kepentingan relatif:

1	: kepentingan seimbang
3	: cukup penting
5	: penting
7	: sangat penting
2, 4, 6	: nilai penengah
1/3, 1/5, 1/7	: nilai perbandingan terbalik

Tabel 1. Bentuk matriks perbandingan berpasangan (Metode *Copeland*)

	Kriteria A	Kriteria B	Kriteria C
Kriteria A	$\frac{A}{A}$	$\frac{A}{B}$	$\frac{A}{C}$
Kriteria B	$\frac{B}{A}$	$\frac{B}{B}$	$\frac{B}{C}$
Kriteria C	$\frac{C}{A}$	$\frac{C}{B}$	$\frac{C}{C}$

Untuk melakukan perbandingan berpasangan, kriteria-kriteria yang mau dibandingkan harus disusun dalam tabel, seperti pada Tabel 3.1. Skala Kepentingan Relatif diisi di tiap sel tabel untuk mewakili penilaian relatif pada masing-masing pasangan kriteria yang dibandingkan. Contohnya, jika Kriteria A dianggap sangat lebih penting dibandingkan dengan Kriteria B, pada sel dimana baris Kriteria A berpotongan dengan kolom Kriteria B perlu diisi dengan Skala Kepentingan Relatif 7. Secara matematis, artinya rasio perbandingan kepentingan antara A dengan B adalah 7 atau A bernilai 7 kali lebih penting dari B. Karena itu, pada sel perbandingan sebaliknya dimana baris B berpotongan dengan kolom A, perlu diisi nilai $\frac{1}{7}$. Nilai perbandingan terbalik tersebut perlu diisi untuk merasionalkan perbandingan antara A dengan B. Misalnya, jika besar apel adalah dua kali dari besar jeruk, artinya besar jeruk adalah setengah dari besar apel. Selanjutnya, jika Kriteria A sedikit lebih penting dari Kriteria C, pada sel $\frac{A}{C}$ perlu diisi nilai 2. Karena itu, pada

 EISSN 2622-545X

sel $\frac{C}{A}$ perlu diisi nilai $\frac{1}{2}$. Pada sel perbandingan $\frac{A}{A}$, $\frac{B}{B}$, $\frac{C}{C}$, dan $\frac{D}{D}$, perlu diisi nilai 1, karena rasio kepentingan antara dua kriteria yang sama adalah 1. Hal Tersebut dikarenakan perbandingan antara suatu kriteria dengan kriteria yang sama memiliki nilai yang setara. Setelah semua sel pada tabel terisi dengan Skala Kepentingan Relatif masing-masing, hasilnya akan terlihat seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Contoh hasil tabel matriks perbandingan

	Kriteria A	Kriteria B	Kriteria C
Kriteria A	1	7	2
Kriteria B	$\frac{1}{7}$	1	$\frac{1}{3}$
Kriteria C	$\frac{1}{2}$	3	1
SUM	1,6429	11	3,3333

Normalisasi matriks perbandingan

Normalisasi dilakukan dengan cara membagi masing-masing Skala Kepentingan Relatif dengan nilai sum dari kolomnya. Contohnya, masing-masing nilai skala dari kolom Kriteria A dibagi dengan nilai sum dari kolom A. Selanjutnya, masing-masing nilai skala dari kolom B dibagi dengan sum dari kolom B. Dari matriks yang sudah ternormalisasi, bobot dari masing-masing kriteria dapat ditapkan dengan cara menentukan rata-rata dari masing-masing baris.

Tabel 3. Contoh matriks perbandingan ternormalisasi

	Kriteria A	Kriteria B	Kriteria C	Bobot Kriteria
Kriteria A	0,6087	0,6364	0,6000	0,6150
Kriteria B	0,0870	0,0909	0,1000	0,0926
Kriteria C	0,3043	0,2727	0,3000	0,2924

Dari contoh perhitungan matriks yang dilakukan, didapatkan bahwa Kriteria A memiliki bobot yang terbesar yaitu 0,6150, diikuti dengan Kriteria C sebesar 0,2924, dan terakhir Kriteria B sebesar 0,0926. Artinya, Kriteria A memiliki kepentingan sebesar 61,5%, Kriteria B sebesar 9,26%, dan Kriteria C sebesar 29,24%.

Weighted Sum Value

Sebagai bagian dari metode pengujian konsistensi, perlu ditapkan nilai *Weighted Sum Value*. Hal tersebut dilakukan dengan cara mengalikan nilai Skala Kepentingan Relatif yang belum ternormalisasi dengan bobot kriteria dari baris yang sama. Contohnya, masing-masing nilai dari kolom A dikalikan dengan Bobot Kriteria baris A. Selanjutnya, masing-masing nilai dari kolom B dikalikan dengan Bobot Kriteria dari baris B. Nilai *Weighted Sum Value* didapatkan dengan cara menjumlahkan nilai dari tiap baris.

Tabel 4. Contoh *Weighted Sum Value*

	Kriteria A	Kriteria B	Kriteria C	Bobot Kriteria
Kriteria A	0,6150	0,6484	0,5847	1,8481
Kriteria B	0,0879	0,0926	0,0975	0,2779
Kriteria C	0,3075	0,2779	0,2924	0,8777

Rasio bobot kriteria dengan *Weighted Sum Value*

Rasio dari *Weighted Sum Value* dengan bobot kriteria ditentukan dengan cara membagi *Weighted Sum Value* bobot kriteria.

Tabel 5. Contoh rasio *Weighted Sum Value* dengan bobot kriteria

Bobot Kriteria	*Weighted Sum*	Rasio
0,6150	1,8481	3,0049
0,0926	0,2779	3,0007
0,2924	0,8777	3,0023
	Average	3,0026

Perhitungan konsistensi

Nilai rata-rata dari semua rasio bobot kriteria dengan *Weighted Sum Value* ditetapkan sebagai λmax. Dengan λmax, dapat ditetapkan nilai indeks konsistensi, yang dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$CI = \frac{\lambda max - n}{n-1}$,

Keterangan:

CI : Indeks Konsistensi (*Consistency Index*)

λmax : Rata-rata rasio bobot kriteria dengan *Weighted Sum Value*

n : Jumlah Kriteria

Contoh perhitungan Indeks Konsistensi:

$CI = \frac{3,0026 - 3}{3\text{-}1}$

CI = 0,0013

Thomas L. Saaty membuat tabel random index (RI) untuk tiap nilai matriks, yang dapat dilihat pada Tabel 3.6, yang nilainya dipilih sesuai dengan jumlah kriteria, sehingga didapatkan nilai Rasio Konsistensi (CR) dengan cara membagi Indeks konsistensi (CI) dengan random index (RI).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Jika nilai rasio konsistensi yang didapat < 0,10, maka matriks yang dimiliki cukup konsisten dan bobot kriteria yang didapatkan boleh digunakan.

Contoh Perhitungan Rasio Konsistensi:

$CR = \frac{0,0013}{0,58} = 0,0023$ (< 0,10, data valid)

Penelitian dilakukan dengan metode wawancara secara langsung dengan narasumber yang paham dan berpengalaman di bidang *waste material*, dan menangani proyek konstruksi di Bogor dan DKI Jakarta. Pada tahap analisis, digunakan aplikasi Microsoft Excel untuk mengolah data skala kepentingan relatif yang didapatkan dari wawancara, menentukan bobot kriteria, serta menentukan validitas data narasumber melalui uji konsistensi.

Kriteria yang digunakan

Berikut adalah kriteria-kriteria yang dibandingkan dalam penelitian:

1. Perubahan desain yang menyebabkan harus dilakukannya pembongkaran dan pembuangan material.
2. Pemesanan material yang melebihi dari volume atau jumlah yang direncanakan akibat kesalahan perhitungan atau kecerobohan pada tahap perencanaan.
3. Pemesanan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan akibat kesalahan perhitungan atau kecerobohan pada tahap perencanaan.
4. Pemesanan material yang melebihi dari volume atau jumlah yang direncanakan bukan karena kecerobohan pada tahap perencanaan, melainkan karena pemesanan tidak dapat dilakukan dalam jumlah kecil, atau ada persyaratan minimum order.
5. Kecerobohan pengangkutan material oleh pihak supplier dimana material yang dikirim rusak atau cacat.

6. Kecerobohan pemindahan material oleh pihak kontraktor dimana material yang sudah sampai menjadi rusak atau cacat.
7. Kecerobohan penanganan material dimana penyimpanan tidak dilakukan dengan baik, sehingga material hilang, rusak, atau cacat.
8. Kesalahan pekerja di lapangan yang menyebabkan material yang sudah digunakan rusak atau cacat.
9. Peralatan yang tidak berfungsi dengan baik yang menyebabkan material yang digunakan rusak atau cacat.
10. Cuaca yang tidak mendukung yang menyebabkan material yang sudah terpasang dan dilindungi sesuai dengan prosedur sekalipun mengalami kerusakan atau cacat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian

Data penelitian didapatkan melalui proses wawancara dengan 24 narasumber yang paham dan berpengalaman tentang *waste material* konstruksi. Data yang terkumpul diisi pada tabel matriks perbandingan seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Skala kepentingan relatif menurut narasumber 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	1	4	2	4	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	2	2
B	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
C	$\frac{1}{2}$	2	1	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	2
D	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	2	2
E	2	2	2	3	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
F	3	2	3	3	3	1	3	$\frac{1}{2}$	2	2
G	3	2	2	3	2	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{2}$	2	2
H	4	4	5	4	5	2	2	1	2	2
I	$\frac{1}{2}$	2	2	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	2
J	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
SUM	21,5	18,5	23	16,83	6,17	9,17	4,15	13	16	21

Keterangan:

A : Perubahan Desain
B : Pesan Material Lebih
C : Pesan Material Salah Spesifikasi
D : Material Lebih Akibat Minimum Order
E : Kecerobohan Supplier (Pengangkutan)
F : Kecerobohan Kontraktor
G : Kecerobohan Penyimpanan
H : Kesalahan Pekerja Lapangan
I : Kesalahan Peralatan
J : Cuaca Tidak Mendukung

Tabel matriks perbandingan yang didapatkan dinormalisasi dengan membagi masing-masing skala kepentingan relatif dengan sum dari kolom yang sama. Matriks Perbandingan yang ternormalisasi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Matriks perbandingan ternormalisasi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Bobot Kriteria
A	0,0667	0,1860	0,1081	0,1739	0,0297	0,0541	0,0364	0,0602	0,1538	0,1250	0,0994
B	0,0167	0,0465	0,0270	0,0870	0,0297	0,0811	0,0545	0,0602	0,0385	0,0313	0,0472
C	0,0333	0,0930	0,0541	0,0870	0,0297	0,0541	0,0545	0,0482	0,0385	0,1250	0,0617
D	0,0167	0,0233	0,0270	0,0435	0,0198	0,0541	0,0364	0,0602	0,1538	0,1250	0,0560
E	0,1333	0,0930	0,1081	0,1304	0,0594	0,0541	0,0545	0,0482	0,0385	0,0313	0,0751
F	0,2000	0,0930	0,1622	0,1304	0,1782	0,1622	0,3273	0,1205	0,1538	0,1250	0,1653
G	0,2000	0,0930	0,1081	0,1304	0,1188	0,0541	0,1091	0,1205	0,1538	0,1250	0,1213
H	0,2667	0,1860	0,2703	0,1739	0,2970	0,3243	0,2182	0,2410	0,1538	0,1250	0,2256
I	0,0333	0,0930	0,1081	0,0217	0,1188	0,0811	0,0545	0,1205	0,0769	0,1250	0,0833
J	0,0333	0,0930	0,0270	0,0217	0,1188	0,0811	0,0545	0,1205	0,0385	0,0625	0,0651

Keterangan:

A : Perubahan Desain
B : Pesan Material Lebih
C : Pesan Material Salah Spesifikasi
D : Material Lebih Akibat Minimum Order
E : Kecerobohan Supplier (Pengangkutan)
F : Kecerobohan Kontraktor
G : Kecerobohan Penyimpanan
H : Kesalahan Pekerja Lapangan
I : Kesalahan Peralatan
J : Cuaca Tidak Mendukung

Bobot kriteria dari masing-masing baris adalah nilai rata-rata nilai pada baris tersebut. Selanjutnya Table. 4 menunjukkan nilai *weighted value* yang ditentukan dengan cara mengalikan nilai skala kepentingan relatif yang belum ternormalisasi dari kolom pertama dengan bobot kriteria baris pertama, kolom kedua dengan bobot kriteria baris kedua, dst.. Jumlah *weighted value* dari masing-masing baris dinamakan *Weighted Sum Value*.

Tabel 8. *Weighted Sum Value*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	*Weighted Sum Value*
A	0,0994	0,1890	0,1235	0,2239	0,0375	0,0551	0,0404	0,0564	0,1666	0,1302	1,1220
B	0,0248	0,0472	0,0309	0,1119	0,0375	0,0826	0,0606	0,0564	0,0417	0,0326	0,5263
C	0,0497	0,0945	0,0617	0,1119	0,0375	0,0551	0,0606	0,0451	0,0417	0,1302	0,6881
D	0,0248	0,0236	0,0309	0,0560	0,0250	0,0551	0,0404	0,0564	0,1666	0,1302	0,6091
E	0,1988	0,0945	0,1235	0,1679	0,0751	0,0551	0,0606	0,0451	0,0417	0,0326	0,8948
F	0,2982	0,0945	0,1852	0,1679	0,2252	0,1653	0,3639	0,1128	0,1666	0,1302	1,9098
G	0,2982	0,0945	0,1235	0,1679	0,1502	0,0551	0,1213	0,1128	0,1666	0,1302	1,4202
H	0,3976	0,1890	0,3087	0,2239	0,3754	0,3305	0,2426	0,2256	0,1666	0,1302	2,5900
I	0,0497	0,0945	0,1235	0,0280	0,1502	0,0826	0,0606	0,1128	0,0833	0,1302	0,9154
J	0,0497	0,0945	0,0309	0,0280	0,1502	0,0826	0,0606	0,1128	0,0417	0,0651	0,7160

Keterangan:

A : Perubahan Desain
B : Pesan Material Lebih
C : Pesan Material Salah Spesifikasi
D : Material Lebih Akibat Minimum Order
E : Kecerobohan Supplier (Pengangkutan)
F : Kecerobohan Kontraktor
G : Kecerobohan Penyimpanan
H : Kesalahan Pekerja Lapangan
I : Kesalahan Peralatan
J : Cuaca Tidak Mendukung

Uji konsistensi

Untuk menentukan apabila data responden konsisten, dilakukan uji konsistensi untuk menentukan nilai *Consistency Ratio* (CR). Jika CR bernilai < 0,1, maka data dianggap valid, dan bobot kriteria dapat digunakan.

Tabel 9. *Weighted Sum Value* dengan rasio bobot kriteria

Kriteria	Bobot	*Weighted Sum Value*	Rasio
Perubahan Desain	0,0994	1,1220	11,2884
Pesan Material Lebih	0,0472	0,5263	11,1405
Pesan Material Salah Spesifikasi	0,0617	0,6881	11,1467
Ada Minimum Order	0,0560	0,6091	10,8814
Kecerobohan Supplier	0,0751	0,8948	11,9178
Kecerobohan Kontraktor	0,1653	1,9098	11,5561
Kecerobohan Penyimpanan	0,1213	1,4202	11,7097
Kesalahan Pekerja	0,2256	2,5900	11,4794
Kesalahan Peralatan	0,0833	0,9154	10,9884
Cuaca Tidak Mendukung	0,0651	0,7160	10,9990
Average			11,3108

Consistency Index

$$CI = \frac{\textit{Average Ratio} - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{11{,}3108 - 10}{n - 1}$$

$$CI = 0{,}1456$$

Consistency Ratio

Random Index (RI) untuk 10 kriteria = 1,49

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = \frac{0{,}1456}{1{,}49}$$

CR = 0,0977 (< 0,1, data responden valid)

Keterangan:

CI : *Consistency Index*

n : jumlah kriteria

RI : *Random Index*

Hasil analisis

Berdasarkan data dari 20 narasumber yang lulus uji konsitensi, diambil nilai rata-rata untuk setiap kriteria. Peringkat kriteria yang paling dominan dapat ditentukan berdasarkan nilai bobot yang tertinggi dari Tabel 10.

Tabel 10. Peringkat bobot kriteria rata-rata

Kriteria	Bobot	Peringkat
Perubahan Desain	0,1154	2
Pesan Material Lebih	0,0757	8
Pesan Material Salah Spesifikasi	0,1141	3
Ada Minimum Order	0,0722	9
Kecerobohan Supplier	0,0597	10
Kecerobohan Kontraktor	0,0904	7

Tabel 11 (Lanjutan). Peringkat bobot kriteria rata-rata

Kriteria	Bobot	Peringkat
Kecerobohan Penyimpanan	0,1140	4
Kesalahan Pekerja	0,1550	1
Kesalahan Peralatan	0,0977	6
Cuaca Tidak Mendukung	0,1023	5

Pembahasan

Berdasarkan penentuan peringkat, kriteria penyebab dihasilkannya *waste materia*l yang paling berpengaruh adalah kesalahan pekerja di lapangan dengan nilai bobot sebesar 15,5%, lalu di peringkat ke-2 adalah perubahan desain dengan bobot 11,54%, dan di peringkat ke-3 adalah pemesanan material yang salah spesifikasi dengan bobot 11,41%.

Berdasarkan wawancara dengan narasumber, *waste material* memang paling banyak dihasilkan pada saat pelaksanaan. Dengan pengawasan yang ketat dan perencanaan yang matang sekalipun, tetap ada peluang terjadinya kesalahan saat pengerjaan di lapangan, terutama karena kesalahan pekerjanya. Selain itu, perubahan desain juga berpengaruh cukup besar. Beberapa narasumber juga berpendapat bahwa *waste material* yang dihasilkan akibat perubahan desain sulit untuk dicegah karena terjadinya perubahan desain itu sendiri, yang umumnya diminta oleh pihak owner, tidak dapat diprediksi. Meski begitu, dapat dilakukan negosiasi dengan pihak pelaksana untuk meminimalisir *waste material* yang dihasilkan. Pemesanan material yang tidak sesuai dengan spesifikasi sedikit lebih jarang terjadi dibandingkan dengan kesalahan pekerja di lapangan dan perubahan desain. Namun jika hal itu terjadi, dampaknya akan sangat besar. Dimana *waste material* yang dihasilkan akibat kesalahan pekerja di lapangan atau perubahan desain dapat diminimalisir dengan penggunaan kembali atau pendauran ulang dan negosiasi, material yang sudah dipesan dan tidak sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan akan lebih sulit untuk dialokasikan karena belum tentu ada bagian proyek yang membutuhkan material dengan spesifikasi tersebut.

Dari semua narasumber yang diwawancara, upaya yang telah dilakukan untuk meminimalisir dihasilkannya *waste material* adalah:

1. Memperketat pengawasan dan kontrol di lapangan untuk memastikan para pekerja mengikuti arahan, agar pekerjaan mereka terlaksana dengan efisien, dan menghasilkan waste yang minim. Meskipun terkadang tidak bisa dihindari karena ketidaksempurnaan manusia, atau adanya keterbatasan jumlah personil yang menyebabkan pengawasan pekerja tidak dapat dilakukan secara menyeluruh.
2. Menggunakan bekisting hollow, atau phenolic, yang meskipun lebih mahal dan umumnya digunakan untuk proyek pembangunan yang besar saja, dapat digunakan lebih banyak kali. Selain itu, jika masih menggunakan bekisting multipleks biasa, sebisa mungkin menerapkan aturan minimal tiga kali pakai sebelum dibuang.
3. Sisa material yang masih berkondisi baik digunakan kembali untuk pekerjaan di bagian lain yang membutuhkan material dengan spesifikasi yang sama.
4. Pengadaan material dilakukan secara bertahap sebagai upaya antisipasi perubahan desain.
5. Perencanaan yang teliti dan pengecekan ulang volume dan spesifikasi material yang diperlukan agar material yang dipesan sesuai dengan yang direncanakan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari faktor-faktor penyebab dihasilkannya *waste materia*l konstruksi, pengaruh atau bobot kriteria dari kesalahan pekerja sebesar 15,5%, perubahan desain sebesar 11,54%, pemesanan material tidak sesuai dengan spesifikasi sebesar 11,41%, kecerobohan penyimpanan sebesar 11,4%, cuaca tidak mendukung sebesar 10,23%, kesalahan peralatan sebesar 9,77%, kecerobohan penanganan oleh kontraktor sebesar 9,04%, pemesanan material melebihi volume yang dibutuhkan sebesar 7,57%, pemesanan lebih karena ada minimum order sebesar 7,22%, dan kecerobohan penanganan oleh supplier sebesar 5,97%.
2. Proyek pembangunan sudah memberikan perhatian yang cukup sesuai dengan prioritas faktor penyebab dihasilkannya *waste material* konstruksi. metode eliminating waste digunakan dengan penggunaan bekisting yang lebih tahan lama untuk mengurangi *waste material* kayu bekisting. Metode *minimizing waste* dilakukan berupa pengawasan dan disiplin dalam pelaksanaan untuk mengurangi terjadinya kesalahan yang menimbulkan *waste*. Metode reusing material digunakan berupa penggunaan kembali sisa material yang masih layak pakai sehingga tidak langsung menjadi limbah. Selain itu, negosiasi dan pemesanan material secara bertahap dilakukan sebagai upaya untuk meminimalisir *waste materia*l yang dihasilkan jika terjadi perubahan desain.

Saran

Upaya yang diberikan untuk mengurangi kesalahan pekerja di lapangan belum maksimal meskipun sebagian narasumber sudah mengetahui bahwa faktor tersebut paling berpengaruh. Karena itu, sebaiknya personil tim pengawas dan kontrol di lapangan diperbanyak agar pengawasan dapat dilakukan dengan lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

Bossink, B. A. G., & Brouwers, H. J. H. (1996). Construction waste: quantification and source evaluation. *Journal of construction engineering and management*, 122(1).

Devia, Y. P., El Unas, S., & Nariswari, W. (2010). Identifikasi Sisa Material Konstruksi dalam upaya memenuhi bangunan berkelanjutan. *Rekayasa Sipil*, 4(3), 195-203.

Ervianto, W. I. (2010). Implementasi Pembangunan Berkelanjutan Tinjauan Pada Tahap Konstruksi. *Konferensi Nasional Teknik Sipil, 4*, 2-3.

Maulana, F. I. (2021). Konsep AHP (Analytical Hierarchy Process). *Binus University*.

Napier, T. (2016 October 17). Construction waste management. National Institute of Building Science. https://www.wbdg.org/resources/construction-waste-management/ Accessed, 21(03), 2023.

Oliver, L. (2022 December 13). The AHP Method: Definition and Example. Indeed.com. https://www.indeed.com/career-advice/career-development/ahp-method/ Accessed, 20(03), 2023.

Parhusip, J. (2019). Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Pada Desain Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Calon Penerima Bantuan Pangan Non Tunai (BPNT) Di Kota Palangka Raya. *Jurnal Teknologi Informasi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Bidang Teknik Informatika, 13*(2), 18-29.

Purba, D. H. (2015). Analisis dan pengelolaan sisa material konstruksi dan faktor penyebab pada 3 proyek kelurahan ditinjau bagian pondasi mengunakan Root Cause Analysis (RCA).

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.

Skoyles, E. R. (1976). Material Wastage: A Misuse of Resources. Building Research and Practice. *Reprinted from Building Research and Practice, July/August 1976. Journal of Social Issues, 32.*

Wulandari, N. (2014). Perancangan Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Supplier di PT. Alfindo Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *JSiI (Jurnal Sistem Informasi), 1*.