

ANALISIS SISA MATERIAL KONSTRUKSI DAN FAKTOR PENYEBABNYA UNTUK PROYEK GEDUNG

Studi Kasus Proyek Pembangunan Rumah Susun ABC di Kalimantan Selatan

(Analysis of Remaining Construction Materials and Their Causal Factors in Building Project)

Candra Yuliana¹, Elma Sofia², Gawit Hidayat², Munawarah²

¹Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Lambung Mangkurat

²Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat

E-mail: candrayuliana@ulm.ac.id

Diterima 19 Februari 2024, Disetujui 7 April 2024

ABSTRAK

Permasalahan yang terjadi pada Proyek Pembangunan Rumah Susun ABC di Banjarbaru adalah lahan proyek yang cukup sempit. Sehingga jika terjadi penumpukan waste material dengan skala besar serta kurangnya manajemen material dapat mengakibatkan terhambatnya proses konstruksi terutama mobilisasi dan demobilisasi alat. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan material yang menimbulkan waste cost besar dan faktor penyebabnya, serta strategi yang mungkin dilakukan untuk meminimalisasi waste. Metode analisis dilakukan dengan analisis pareto, waste cost, dan fishbone. Pengumpulan data dengan cara pengamatan dan wawancara atau brainstorming pada beberapa proyek yang sejenis. Hasil analisis Pareto (80/20) menunjukkan ada dua material yang berkontribusi biaya besar, yaitu besi dan beton. Material yang berpotensi menghasilkan waste cost besar di Proyek Pembangunan Rumah Susun ABC Kalimantan Selatan terhitung sampai minggu ke-21 adalah beton ready mix. Kontribusi nilai waste setiap meter persegi adalah sebesar 0,073 m³ dengan waste cost sebesar 0,003% dari nilai kontrak. Berdasarkan analisis fishbone didapat faktor penyebab waste adalah lokasi yang sempit, penumpukan material yang berpindah-pindah, pekerja meletakkan material sembarangan, panjang tulangan yang tidak seragam, penyederhanaan bentuk struktur pile cap, penggunaan alat tidak sesuai fungsinya, jumlah pesanan yang tidak sesuai, sisa beton di molen, pekerja kelelahan. Strategi untuk meminimalkan waste material besi beton dan beton ready mix yaitu memberi bimbingan pada tukang besi dan pekerja, membuat akses distribusi alat, penggunaan alat sesuai fungsinya, pemanfaatan sisa beton, analisis program linier atau barbending schedule. Hasil ini menjadi pertimbangan dan saran dalam menekan anggaran proyek akibat dampak dari waste material.

Kata Kunci: Faktor Penyebab, Fish Bone, Sisa Material Konstruksi, Strategi, Waste Cost

ABSTRACT

The problem that occurred in the ABC Flats Construction Project in Banjarbaru was that the project land was quite narrow. So if there is a large scale accumulation of material waste and lack of material management it can result in delays in the construction process, especially the mobilization and demobilization of tools. The aim of this research is to determine materials that cause large waste costs and the factors that cause them, as well as possible strategies to minimize waste. The analysis method is carried out using Pareto, waste cost and fishbone analysis. Collecting data by means of observation and interviews or brainstorming on several similar projects. The results of the Pareto analysis (80/20) show that there are two materials that contribute large costs, namely iron and concrete. The material that has the potential to generate large waste costs in the ABC Kalimantan Flats Construction Project as of the 21st week is ready mix concrete. The contribution of waste value per square meter is 0.073 m³ with a waste cost of 0.003% of the contract value. Based on the fishbone analysis, it was found that the factors causing waste are a narrow location, stacking of moving materials, workers placing material carelessly, length of reinforcement that is not uniform, simplification of the shape of the pile cap structure, use of tools that do not match their function, number of orders that do not match, the rest of the concrete in the mixer, workers fatigue. Strategies to minimize waste of iron-concrete and ready-mix concrete materials are providing guidance to blacksmiths and workers, making access to tool distribution, using tools according to their functions, utilizing residual concrete, analyzing linear programs or barbending schedules. These results become considerations and suggestions in reducing the project budget due to the impact of material waste.

Keywords: Causative Factors, Fish Bone, Construction Material Waste, Strategy, Waste Cost

PENDAHULUAN

Timbulnya *waste material* di berbagai proyek pembangunan di Indonesia tidak jarang masih dianggap sebagai konsekuensi dari pelaksanaan konstruksi yang sebenarnya mengakibatkan kerugian bagi pihak kontraktor pelaksana (Pertiwi, 2019). Sisa material yang tidak terpakai lagi selama masa konstruksi disebut sebagai *waste material* (Intan, 2004; Formoso, 1999; Abdurrahman, 2012). Jika terjadi penumpukan *waste material* mengakibatkan terhambatnya proses mobilisasi dan demobilisasi alat. Luas area proyek konstruksi yang terbatas dan tidak mencukupi membuat kontraktor kesulitan dalam menyimpan material yang digunakannya, sehingga dapat mengakibatkan material menumpuk dan menyebabkan kerusakan atau tidak dapat digunakan kembali. Artinya material tersebut menjadi limbah.

Seringkali luas lahan proyek juga dapat berpengaruh terhadap areal penumpukan material sisa, yang dapat berdampak juga terhadap terhambatnya proses pelaksanaan pekerjaan dan berdampak terhadap biaya. Material konstruksi yang dapat menjadi *waste* bisa berupa sisa-sisa reruntuhan beton, besi tulangan, bekisting kayu, serta material pecah seperti keramik, bata, dan plesteran. Sisa potongan besi tulangan pada pekerjaan beton bertulang, merupakan sisa material yang paling banyak terjadi dalam suatu proyek. Dari jumlah tersebut, sisa kerugian material akibat kesalahan pemotongan besi tulangan adalah sekitar 5 sampai 10% (Intan, S. dkk, 2005). Hal ini berdampak besar terhadap pembiayaan proyek, karena semakin banyak material sisa yang dihasilkan maka semakin tinggi pula biaya material yang harus dikeluarkan.

Untuk menekan angka kerugian dan menanggulangi terjadinya penumpukan sisa material perlu diadakan studi analisis terhadap sisa material konstruksi proyek tersebut. Cara yang mungkin dilakukan untuk mengatasi limbah material di Indonesia adalah pengelolaan material untuk meminimalkan material sisa karena pertimbangan biaya, teknologi yang tidak memadai, dan penerapan wawasan ramah lingkungan.

Proyek Pembangunan Rumah Susun ABC di Banjarbaru, Kalimantan Selatan, terdiri dari 8 lantai, dan total luas lantai 7.104 m², diajukan menjadi objek penelitian karena lahan proyek yang cukup sempit. Jika terjadi penumpukan *waste material* dengan skala besar serta kurangnya manajemen material dapat mengakibatkan terhambatnya proses konstruksi terutama mobilisasi dan demobilisasi alat. Selain itu berdasarkan wawancara singkat ditemukan adanya miskomunikasi antara pihak-pihak terkait pembelian material.

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah menentukan material apa saja yang menimbulkan *waste cost* yang besar dan faktor penyebabnya, menentukan besar *waste index*, serta menentukan langkah apa saja yang mungkin dilakukan untuk meminimalisasi *waste material* pada Proyek Pembangunan Rumah Susun ABC di

Kalimantan Selatan, khususnya Banjarbaru.

Metode yang dilakukan untuk menjawab tujuan yaitu deskriptif kualitatif, dengan pengumpulan data secara purposive sampling melalui wawancara. Data sekunder, dinalisis dengan identifikasi jenis material trading, menghitung biaya material, analisis pareto, analisis *waste*, analisis *fishbone* selanjutnya menentukan solusi untuk meminimalkan material *waste*.

Dalam penulisan ini dikarenakan luasnya ruang lingkup permasalahan, maka masalah akan dibatasi hanya pada sisa material yang berasal dari material yang dibeli untuk proyek dan yang termasuk dalam *consumable material*, dan dipakai tanpa mencampurnya dengan material lain (*material trading*). Dan penelitian dilakukan pada masa pelaksanaan yaitu sampai minggu ke-21.

Pengertian dan Identifikasi Faktor Penyebab Waste Material

Definisi *waste material* konstruksi adalah sisa material yang tidak efisien atau tidak terpakai lagi selama masa konstruksi (Intan, 2004; Formoso, 1999; Abdurrahman, 2012). Menurut Gavilan (1994), material yang digunakan terdiri dari kategori *consumable material* dan *non-consumable material*. *Waste* terdiri dari 5 kategori: perbaikan, waktu tunggu, bahan, personel, dan operasi (Alwi, 2002). Dalam *construction waste* ada dua tipe, yaitu *indirect waste* dan *direct waste* (Urio, 2006). *Indirect waste*, merupakan sisa material atau berupa kehilangan biaya (*moneter loss*) yang terjadi karena volume realisasi melebihi direncanakan. Ada empat jenis *indirect waste*: *waste alternatif*, *waste produksi berlebih*, *waste tidak disengaja*, dan *waste pemakain sementara*. *Direct waste*, di sisi lain, adalah sisa bahan yang rusak, hilang, atau tidak lagi digunakan, dan sisa bahan itu ditemukan di tempat. *Direct waste* terdiri atas 11 jenis *waste*, yaitu *waste* akibat transportasi dan distribusi, akibat penyimpanan dan perpindahan di lokasi, akibat konversi, akibat perbaikan, akibat pemotongan, akibat aplikasi, akibat penggunaan fasilitas yang tidak efisien, manajemen, akibat perusakan, salah perhitungan, proses pembelajaran.

Berdasarkan Alwi, 2002; Skoyles, 1987; Asiyanto, 2005, faktor penyebab *waste*, yaitu orang/pekerja struktur/pekerja finishing, manajemen profesional, desain dan dokumentasi, material, pelaksanaan dan eksternal, penyusutan quantity, quantity yang ditolak, quantity yang hilang, quantity yang rusak, quantity akibat kelebihan penggunaan. Menurut Gavilan (1994), Bossink (1996) berikut sumber penyebab terjadinya *waste material* konstruksi, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Sumber dan Penyebab *Waste Material*

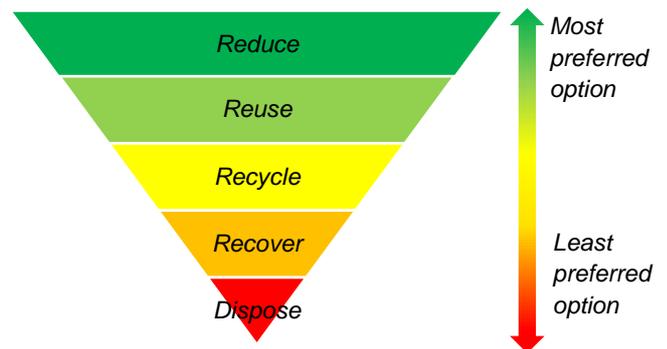
Sumber	Penyebab
Desain	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahan desain dan perencanaan • Dokumen kontrak yang tidak lengkap dan salah • Pemilihan spesifikasi produk • Pemilihan bahan kualitas rendah • ukuran produk yang kurang tepat

Sumber	Penyebab
Pengadaan	<ul style="list-style-type: none"> Desainer tidak terbiasa dengan jenis produk lain Gambar detail terlalu rumit Kurangnya informasi tentang gambar Kurangnya koordinasi dengan kontraktor Kurangnya pengalaman konstruksi
	<ul style="list-style-type: none"> Pemesanan yang salah Tidak dapat memesan dengan jumlah kecil Pembelian bahan non-spesifikasi Barang yang dikirim oleh pemasok tidak benar Pengemasan yang buruk, berakibat kerusakan selama pengiriman
	<ul style="list-style-type: none"> Pengemasan bahan yang tidak benar Bahan yang dikirim tidak padat/jelek. Membuang material. Penanganan yang ceroboh saat membongkar ke gudang. Penyimpanan bahan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan. Penyimpanan bahan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan
	<ul style="list-style-type: none"> Kesalahan terkait pekerjaan. Perangkat yang tidak bekerja dengan benar. Cuaca jelek Kecelakaan saat bekerja di lokasi. Bahan yang digunakan salah dan harus diganti Langkah-langkah untuk meletakkan fondasi Jumlah material yang dibutuhkan tidak diketahui karena perencanaan yang buruk Keterlambatan penyampaian informasi tentang jenis dan ukuran bahan yang digunakan akan dikirim ke kontraktor setelah penundaan. Kecerobohan dalam mencampur, mengolah dan kesalahan dalam penggunaan material sehingga perlu diganti. Tingkat kebisingan yang berlebihan karena pengukuran yang tidak akurat di lapangan
Residual	<ul style="list-style-type: none"> Sisa material yang tidak berguna Kesalahan pemotongan bahan Kesalahan pemesanan karena spesifikasi produk yang tidak jelas Bekas bungkus Sisa dari proses penggunaan
Faktor lain	<ul style="list-style-type: none"> Kerusakan properti karena pencurian. Manajemen material proyek dan perencanaan pengelolaan limbah yang buruk.

Kontrol Kuantitas Waste Material

Sebelum menghitung biaya, perlu diketahui jumlah/volume masing-masing item pekerjaan (Kurnia, R.M, dkk., 2022). Analisis volume waste material adalah jumlah material di lokasi dikurangi jumlah material pada gambar dan *bill of material* (BQ), selanjutnya dikurangi persediaan material yang tersisa (Intan dkk, 2005).

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwasan tingkatan dari atas kebawah yang merupakan semakin rendah, maka akan membesar jumlah sampah dan biaya yang terjadi. Jikalau dari awal dilakukan pencegahan, maka hanya sebagian kecil saja diperlukan langkah lanjutan seperti reuse, recycle, dan pembuangan (Samsidi dkk, 2009). Untuk mengurangi waste material konstruksi diperlukan penanganan yang terlihat pada Tabel 2 (Samsidi, 2009).



Gambar 1. Waste Hierarchy (Samsidi, dkk, 2005)

Tabel 2. Penanganan Waste Material Konstruksi
Cara Penanganan Sisa Material

<i>Reduce</i>
<p>A. Membuat Rencana Pencegahan Sisa Material</p> <ol style="list-style-type: none"> Perkirakan jenis dan jumlah sisa material yang akan dihasilkan Bekerja dengan pemasok untuk bahan tambahan Penyimpanan bahan tahan cuaca Dat referensi pemasok dan pendaur ulang Koordinasi pertemuan yang mengurangi pemborosan material <p>B. Mencegah Sisa Material di Lokasi Proyek Pada Saat Pelaksanaan</p> <ol style="list-style-type: none"> Kesepakatan tentang tanggal pengiriman material Pemilihan bahan dengan kemasan minimal atau tanpa kemasan Mengontrol keakuratan jumlah bahan yang dikirim ke proyek Pengaturan letak tumpukan material di dalam area penyimpanan Menyediakan tempat pemotongan material Menggunakan bekisting yang dapat dipakai beberapa kali Mnggunakan alat transportasi yang sesuai untuk meminimalkan tumpahan material
<i>Reuse, Rcycle & Salvage</i>
<p>A. Perencanaan Pengelolaan Sisa Material</p> <ol style="list-style-type: none"> Catatan material yang digunakan kembali Catatan material yang didaur ulang Catatan material yang menjadi sisa/ sampah

Cara Penanganan Sisa Material
4. Rencana perlindungan, penyimpanan dan pemindahan material
5. Pengaturan jadwal pembuangan sisa material
B. Pelaksanaan Pengelolaan Sisa Material
1. Identifikasi material yang dapat dipisah tanpa kerusakan
2. Identifikasi material yang bernilai jual kembali tinggi
3. Identifikasi sisa material yang masih baru
4. Penghapusan barang-barang berharga yang tersisa oleh perusahaan penyelamat
5. Bahan yang tersisa akan disumbangkan ke organisasi nirlaba
6. Tenaga kerja diperbolehkan mengeluarkan bahan yang dapat didaur ulang
C. Pertimbangan Terhadap Sisa Material Berbahaya
1. Identifikasi sisa material yang berbahaya
2. Penanganan sisa material yang berbahaya oleh pihak yang kompeten
3. Daur ulang/ buang sisa material berbahaya ke fasilitas sampah berbahaya

Volume, Wastage Level, Waste Index, dan Waste Cost

Menurut Kusuma (2010) dan Aulia (2016), jumlah sisa material dihitung berdasarkan jumlah material dibeli yang didatangkan ke lokasi proyek, dikurangi jumlah yang dipasang berdasarkan *as-built drawing*, dan dikurangi dengan persediaan material di lokasi.

Wastage level adalah volume sisa dihitung berdasarkan persentase volume terbuang (*volume waste*), dibagi dengan volume terpasang. *Waste level* material dihitung menggunakan persamaan (1).

$$Wastage\ Level = \frac{Volume\ Waste}{Volume\ Terpasang} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

$$Volume\ Waste = \text{jumlah material masuk} - \text{jumlah material terpasang} \dots\dots\dots (2)$$

$$Volume\ material\ terpasang = \text{volume berdasarkan as built drawig} \dots\dots\dots (3)$$

Menurut Poon (2003) dan Pertiwi (2019), *waste index* dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$Waste\ Index = \frac{W}{GFA} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

$$W = V \times N$$

V = Kapasitas truk (m³)

N = Jumlah total truk

GFA = Luas areal proyek (m²)

Kuantitas *waste* diprediksi berdasarkan survei, catatan pengukuran dan muatan truk. Perhitungan *waste index* digunakan sebagai gambaran estimasi banyaknya material sisa yang dibuang karena tidak bisa dimanfaatkan kembali (Intan S, 2004).

Waste cost merupakan pemborosan biaya karena pemakaian material melebihi jumlah yang direncanakan. *Waste cost*, menurut Shen, dkk (2002) dapat dihitung dari biaya yang telah dikeluarkan dikurang biaya terpasang, seperti terlihat pada persamaan (5).

$$Waste\ Cost = \text{biaya dikeluarkan} - \text{biaya terpasang} \dots (5)$$

$$Persentase\ Waste\ Cost = \frac{Waste\ Cost\ (Rp)}{Biaya\ Total\ (Rp)} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Analisis Pareto

Analisis Pareto, metode standar pengendalian kualitas untuk memaksimalkan hasil dan memilih masalah utama, merupakan pendekatan sederhana dan alat solusi dalam bidang yang cukup kompleks dipertimbangkan (Poerwanto, 2011). Bagan pareto banyak digunakan dalam kegiatan pengendalian kualitas untuk mengelola kerangka kerja proyek, proses program, kombinasi pelatihan, proyek dan proses, sehingga sangat membantu dalam meningkatkan kualitas kerja dan membantu pekerja membawa kemudahan (Poerwanto, 2011). Bagan pareto adalah bagan yang berisi bagan batang dan bagan garis. (Sunarto dan Nugroho, 2020). Panjang batang mewakili frekuensi atau biaya (uang atau waktu) dan diurutkan dari yang terpanjang di sebelah kiri hingga yang terpendek di sebelah kanan. Grafik karena itu menunjukkan secara visual situasi mana yang lebih penting (Tague, 2005).

Bagan pareto berfungsi agar klasifikasi data diurutkan dari kiri ke kanan sesuai dengan urutan peringkat tertinggi hingga terendah. Prinsip Pareto, juga dikenal sebagai aturan 80/20, menyatakan bahwa 20% dari jumlah aktivitas dapat memberikan manfaat sebesar 80%, atau 20% penyebabnya dapat menyebabkan 80% masalah (Poerwanto, 2011).

Fishbone Diagram

Fishbone diagram (diagram tulang ikan) merupakan alat sistematis dengan prinsip sebab-sebab yang berdampak terhadap masalah yang ditinjau. Fishbone diagram dikenal dengan istilah *cause and effect diagram* (Kusnadi, 2011). Konsep dasar fishbone diagram yaitu menguraikan satu masalah, kemudian penyebabnya yang dipecah menjadi beberapa penyebab utama serta sub penyebab (Elqorni, 2012). Tahapan analisis diagram fishbone yaitu: (1) identifikasi dan definisikan rumusan masalah (kotak problem), (2) membuat *chartpack*, gambar cabang dan kotak akibat, (3) identifikasai faktor secara spesifik pada kategori utama dan spesifik lain yang mungkin menjadi penyebab dan sub penyebab dari permasalahan, (4) identifikasi lebih detail mengenai tingkatan dari sub penyebab, (5) bagian yang menjadi pengaruh pada masalah dapat diidentifikasi dengan sub faktor penyebab terkecil.

METODE

Obyek penelitian dilakukan di Proyek Pembangunan Rumah Susun ABC Kalimantan Selatan, Banjarbaru. Proyek ini berlokasi di Jln. Unlam 3, Kel. Sungai Besar, Kota Banjarbaru. Data primer dikumpulkan melalui

observasi dan wawancara mengenai kapasitas dan jumlah truk yang mengangkut waste, dan jumlah pembuangan, serta untuk mendapatkan data faktor penyebab waste melalui brainstorming dengan mempertimbangkan foto kegiatan lapangan, hasil pengamatan pada beberapa proyek yang sejenis, dan keterangan narasumber dalam hal ini adalah pengawas lapangan. Sedangkan data sekunder berupa volume material, gambar detail penulangan, harga material, laporan harian atau mingguan. Data sekunder berupa RAB dan desain digunakan untuk menghitung volume, biaya, serta analisis waste. Sedangkan data primer digunakan untuk menentukan faktor penyebab waste.

Data dianalisis dengan tahapan: (1) identifikasi jenis material trading, (2) menghitung volume, (3) menghitung biaya material trading, (4) analisis pareto, (5) menghitung volume waste, wastage level, waste cost, dan waste index, (6) analisis fishbone diagram, (7) identifikasi masalah dan detail masalah, (8) menentukan solusi untuk meminimalkan material waste.

HASIL DAN PEMBAHASAN

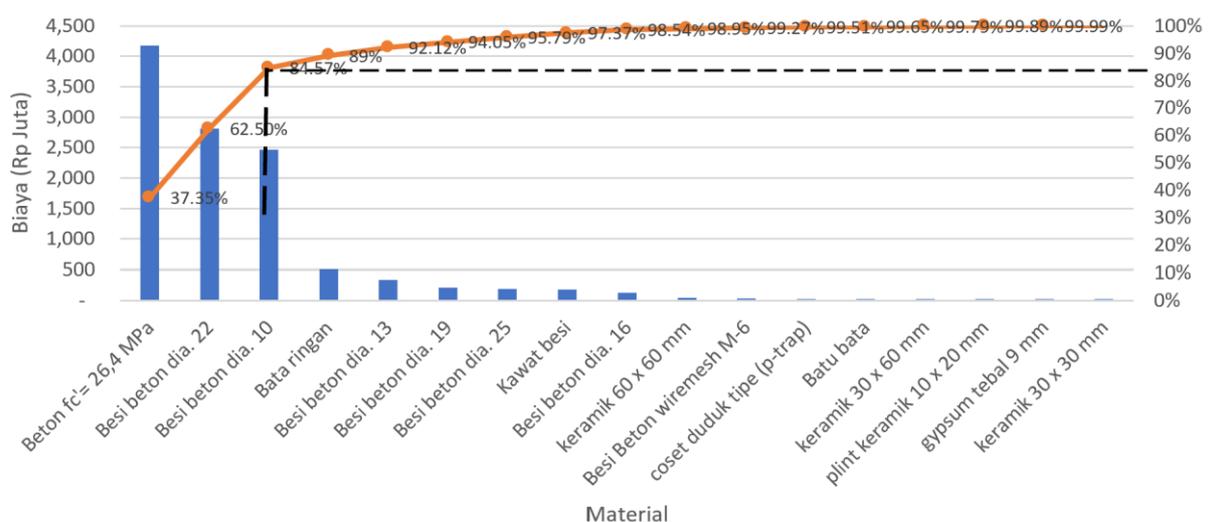
Adapun jenis material yang akan diperhitungkan adalah material yang masuk kedalam jenis *consumable material*. Material tersebut merupakan material yang akan menjadi bagian dari struktur fisik bangunan, yaitu besi polos, besi weremesh M-6, besi ulir, kawat beton, beton *ready mix* K 300, batu bata, bata ringan t = 7,5 cm, gypsum, keramik lantai 30 x 30, keramik lantai 30 x 60, keramik lantai 60 x 60, plit keramik 10 x 20, closet duduk type (p-Trap). Material tersebut selanjutnya akan dipilih dengan menggunakan analisis Pareto untuk mendapatkan 20% material yang menghasilkan biaya 80% paling besar. Namun permasalahannya adalah ketika menganalisis Pareto material besi beton, dimana didalam RAB besi beton hanya dihitung berat totalnya tanpa merincikan

berat masing-masing diameter yang digunakan di proyek. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan berat setiap diameter masing-masing besi beton yang terpasang. Berat material keseluruhan yang dipakai pada masing-masing pekerjaan dihitung dengan acuan koefisien dari AHSP SNI 2016, yaitu untuk pekerjaan besi dengan koefisien 1,05 sedangkan kawat beton 0,015. Biaya total untuk setiap material didapat dari hasil perkalian volume dengan harga satuan pekerjaan.

Tahapan dalam analisis pareto dimulai dengan menyusun material secara hirarki dari material dengan biaya yang terbesar ke terkecil, selanjutnya dihitung bobot (%) masing-masing dan kumulatifnya. Analisis Pareto dilakukan dengan melihat pada 20% dari total 17 material yang memiliki biaya paling besar dari persentase biaya yang dikeluarkan. Hasil analisis Pareto seperti terlihat pada Gambar 2. Analisis Pareto (Gambar 2) menunjukkan bahwa untuk bobot biaya kumulatif minimal 80% dicapai sampai pada material ke-3 yaitu material besi beton Ø10. Sehingga untuk tahap selanjutnya dihitung nilai waste untuk ketiga material tersebut yang merupakan material berbiaya besar. Volume pekerjaan beton bertulang seperti terlihat pada Tabel 3 yang merupakan material yang sudah dianalisis Pareto.

Tabel 3. Rekapitulasi Kebutuhan Bahan Beton Bertulang

Jenis Material	Volume	Biaya (Rp)	Bobot Biaya (%)
1. Berat besi Ø 10 mm	246.981,75 Kg	2.469.817.455	22,07
2. Berat besi Ø 22 mm	281.408,28 Kg	2.814.082.845	25,15
3. Ready mix	2.924,65 m ³	4.179.591.339	37,35



Gambar 2. Hasil Analisis Pareto

Analisis Volume Waste, Wastege Level, dan Waste Cost

Perhitungan nilai waste berdasarkan data harian material datang. Data material yang datang terlebih dahulu dikonversi kedalam satuan yang sama dengan hasil analisis volume terpasang. Misalnya besi beton yang datang dalam satuan batang harus dikonversi menjadi satuan kg. Selanjutnya dihitung volume waste

dengan persamaan (2), dan wastage level dengan menggunakan persamaan (1). Sedangkan waste cost dapat dihitung berdasarkan persamaan (5) dan atau persamaan (6). Hasil perhitungan volume waste, wastage level, dan waste cost untuk masing-masing jenis material terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Waste Material yang Terjadi

Material	Vol. Waste	Wastege Level (%)	Harga Satuan (Rp)	Waste Cost (Rp)	Waste Cost (%)
1. Beton fc'= 26,4 MPa	111,35	0,0381	1.442.622,50	200.210.571,14	0,0479
2. Besi beton Ø 10	104,54	0,0004	10.000,00	1.045.400,21	0,0004
3. Besi beton Ø 22	78,40	0,0003	10.000,00	784.049,97	0.0002

Analisis Nilai Waste Index

Waste index menunjukkan banyaknya material yang dibuang keluar dari proyek. Nilai waste index dibedakan menjadi consumable material dan non consumable material. Nilai waste index dihitung berdasarkan data kapasitas alat pengangkut, jumlah alat, intensitas kedatangan alat dan luasan proyek yang didapat dari hasil wawancara dengan pihak proyek. Dari hasil wawancara dengan pengawas dan site manager kontraktor diketahui data sebagai berikut:

- a. Jenis alat pengangkut: Truk dengan kapasitas 7 m3
- b. Jumlah alat pengangkut : 3 buah
- c. Intensitas kedatangan : 3 kali sebulan atau 16 kali dalam 21 minggu
- d. Jumlah minggu pekerjaan : 21 minggu
- e. Luas Area Proyek (GFA): 4.576,36 m2

Dengan menggunakan persamaan 4, maka waste index untuk pembangunan rumah susun sampai pada minggu ke-21 adalah sebagai berikut:

$$Waste Index = \frac{7 m^3 \times 3 \text{ buah} \times 16 \text{ kali}}{4.576,36 m^2} = 0,073 m^3/m^2 \dots (7)$$

Nilai waste dari persamaan (7) menunjukkan bahwa setiap meter persegi lahan proyek akan memberikan kontribusi nilai waste sebesar 0,073 m³. Nilai waste index pada penelitian ini cukup kecil dikarenakan waste yang dianalisis hanya sampai minggu ke-21 proyek berjalan.

Identifikasi Faktor Penyebab Waste

Faktor dan sub faktor penyebab waste didapat dari hasil brainstorming dengan pihak proyek berdasarkan kategori utama yang telah ditentukan, yaitu peralatan, metode, material, tenaga kerja (manusia), dan manajemen. Wawancara dan brantroming dilakukan dengan mempertimbangkan dokumentasi kegiatan di lokasi, pengamatan terhadap beberapa proyek serupa, dan informasi dari sumber (dalam hal ini, manajer konstruksi dan proyek). Melakukan brainstorming untuk mengumpulkan kemungkinan faktor penyebab setiap kategori utama. Selanjutnya, diskusikan dengan para

ahli tentang sub faktor potensial penyebab waste.

Fator penyebab dari hasil wawancara dan brainstorming selanjutnya diinput dalam diagram fishbone untuk masing-masing setiap kategori utama. Setiap kategori utama memiliki banyak penyebab dan faktor penyebab, tergantung pada masalah yang mungkin muncul. Tahapan dalam pembuatan fishbone adalah mengidentifikasi dan mendefinisikan masalah dalam hal ini sisa besi beton ditulis pada kotak sebelah kanan. Selanjutnya mengidentifikasi faktor penyebab masalah sisa besi beton (ditulis pada garis seperti tulang ikan) untuk setiap kategori utama, dan dilanjutkan dengan mengidentifikasi lebih dalam (detail) dari penyebab menjadi sub penyebab. Hasil analisis pengaruh hubungan antara tiap faktor penyebab dengan sub faktornya terhadap kategori utama dengan metode fishbone untuk material sisa besi beton dapat dilihat di Gambar 3, sedangkan untuk material beton ready mix terlihat pada Gambar 4.

Faktor potensial yang paling berpengaruh terhadap waste material besi beton adalah:

- a. Kategori lingkungan: dikarenakan lokasi yang sempit sehingga dilakukan penumpukan material yang berpindah-pindah.
- b. Kategori manusia: disebabkan pekerja meletakkan material sembarangan, lokasi penumpukan yang berpindah-pindah mengakibatkan mudah tercecer atau barang hilang.
- c. Kategori material: panjang tulangan yang tidak seragam.

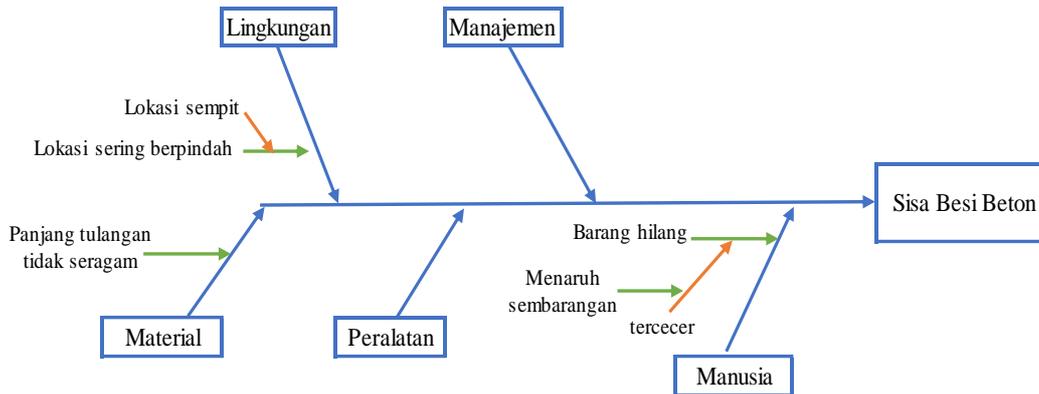
Sedangkan faktor potensial yang paling berpengaruh terhadap waste material beton ready mix adalah:

- a. Kategori manajemen: dipengaruhi oleh penyederhanaan bentuk struktur pile cap dan penggunaan alat tidak sesuai fungsinya.
- b. Kategori material: dipengaruhi oleh jumlah pesanan yang tidak sesuai dan sisa beton di molen.
- c. Kategori peralatan: diakibatkan karena tempat kerja yang sempit sehingga proses pengecoran sulit

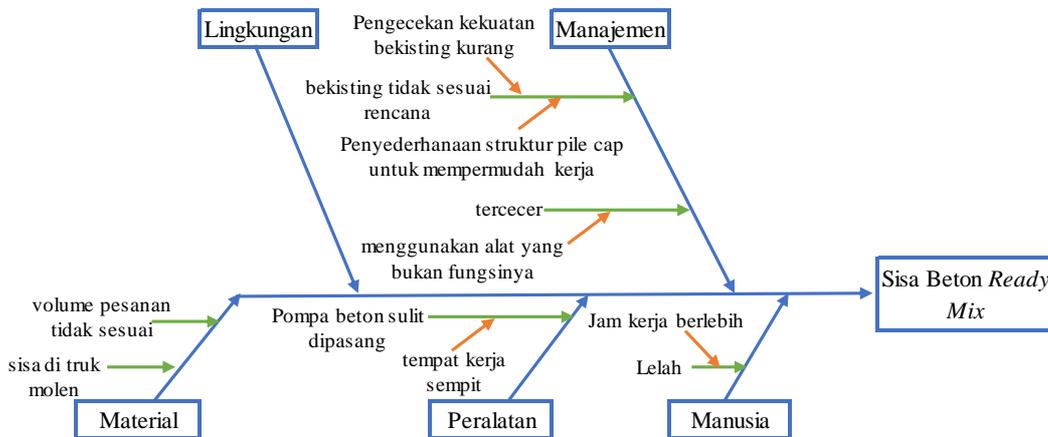
- dilakukan.
- d. Kategori manusia: pekerja kelelahan dikarenakan jam kerja yang berlebih berdampak produktivitas tidak maksimal.

Strategi yang dapat dilakukan untuk meminimalkan waste material besi beton dan beton *ready mix* yaitu memberi bimbingan pada tukang besi dan pekerja dengan mengingatkan melalui *briefing morning* agar teratur meletakkan material, menjelaskan bahwa

perubahan struktur pile cap akan berdampak pemborosan beton, membuat akses distribusi alat yang baik agar tidak tercecer, penggunaan alat sesuai fungsinya, pemanfaatan sisa beton untuk pekerjaan dengan slump kecil. Untuk mengatasi panjang tulangan yang tidak seragam maka diperlukan analisis untuk menentukan pola pemotongan besi tulangan dengan metode seperti program linear atau *bar bending schedule*.



Gambar 3. Fishbone Diagram untuk Penyebab Waste Besi Beton



Gambar 4. Fishbone Diagram untuk Penyebab Waste Beton Ready mix

Jika dibandingkan dengan *waste index* dari penelitian sebelumnya, yaitu pada proyek A Tapin sebesar 0,093 m³ (Isda, 2021), proyek hotel B sebesar 0,571 m³ (Waluyo, 2017), proyek gedung C sebesar 0,156 m³ (Bagus, 2013), proyek Ruko D sebesar 0,132 m³ (Wiguna, 2009), dan proyek E sebesar 0,12 m³ (Nuri, 2006), memberikan nilai yang lebih kecil dikarenakan waste yang dihitung pada penelitian ini hanya sampai minggu ke-21 (sekitar 50% total waktu pelaksanaan). Material yang potensial terjadi waste kebanyakan adalah sisa potongan besi tulangan (Arman, U.D, 2023).

Faktor penyebab dari penelitian sejenis (Wijaya, M.I.R, dkk, 2020) diantaranya adalah karena buruknya pengawasan, koordinasi kurang, kesalahan perkiraan volume, gambar desain berubah. Ada kesamaan hasil penelitian yaitu kurangnya pengawasan. Pada penelitian

Wijaya tidak difokuskan pada material tertentu. Sedangkan penelitian ini difokuskan pada material yang berkontribusi biaya terbesar, yaitu beton *ready mix* dan besi tulangan. Material sisa di truk molen juga bisa digunakan untuk pekerjaan yang memerlukan slump kecil.

Hasil analisis faktor penyebab terjadinya waste selanjutnya divalidasi berdasarkan pengamatan di lapangan, salah satunya terjadi penumpukan waste di beberapa tempat yang mana materialnya sebagian besar adalah sisa-sisa potongan besi tulangan.

Penelitian ini memberikan rekomendasi bahwa potensial waste material yang terjadi yaitu pada sisa potongan besi tulangan dan beton *ready mix*. Waste dapat diminimalisir dengan menentukan faktor detail yang menyebabkan terjadinya waste tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis maka dapat disimpulkan material yang berpotensi menghasilkan waste cost besar di Proyek Pembangunan Rumah Susun ABC di Banjarbaru terhitung sampai minggu ke-21 adalah beton *ready mix* sebesar 0,0479% , besi beton Ø 10 mm sebesar 0,0004% , dan besi beton Ø 22 mm sebesar 0,0003% dari total *cost* yang direncanakan. Ini menunjukkan bahwa material terbesar yang terjadi *waste* adalah material beton dan besi tulangan.

Faktor penyebab *waste* yaitu faktor lingkungan, manusia, peralatan dan material. *Waste* terjadi karena kurangnya pengawasan dan lokasi yang sempit. Nilai *waste index* proyek tersebut adalah 0,073 m³/m² artinya setiap m² dari lahan proyek terbentuk *waste* sebesar 0,073 m³. Sedangkan nilai keseluruhan *waste cost* adalah Rp 202.040.021,33 sebesar 0,003% dari nilai kontrak terhitung sampai minggu ke-21 pekerjaan.

Strategi untuk meminimalkan *waste* material besi beton dan beton *ready mix* dapat dilakukan dengan memberi bimbingan pada tukang besi dan pekerja, membuat akses distribusi alat, penggunaan alat sesuai fungsinya, pemanfaatan sisa beton. Selain itu dapat melakukan pola pemotongan besi melalui perhitungan dengan program linear atau *barbending schedule* untuk mengurangi sisa potongan besi. Diharapkan memberikan solusi untuk meminimalkan *waste* sehingga dapat mengurangi biaya akibat adanya *waste*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada responden dalam penelitian ini yang telah membantu dalam pengambilan data.

REFERENSI

Abdurrahman, M. A. (2012). Analisa dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi pada Pembangunan Gedung Bertingkat rendah di Makassar. *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik*, 6: 1-4.

Alwi, S., Hampson, K. D., dan Mohamed, S. A. (2002). Non-Value-adding Activities: A Comparative Study of Indonesia and Australian Construction Project. Australia, 157.

Arman, Utami D., Lili Leilany, Afrilda S., Asri Yuda T., Mediana Desfita. (2023). Analisis Sisa Material Proyek Pembangunan Perumahan XYZ di Kabupaten Darmasraya. *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, 10 (2), 585-592, <https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.123588>

Asiyanto. (2005). *Construction Project Cost Management*, Pradnya Paramita: Jakarta.

Aulia, N. A. (2016). *Analisis Dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi Menggunakan Metode Pareto dan*

Fishbone Diagram (Studi Kasus pada Proyek Pembangunan Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang). Skripsi. Universitas Brawijaya: Malang.

Bossink, B.A.G., Brouwers, H.J.H. (1996). Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 55-60.

Elqorni, Ahmad. (2012). Mengenal Analisis Fishbone, (<https://elqorni.wordpress.com/2012/11/09/mengenal-analisis-fishbone/>). [12 Maret 2021].

Formoso, C. T., Asatto, E. I. dan Hirota. (1999). Method for Waste Control in The Building Industry. *Proceedings IGLC-7*, 325-334.

Gavilian, R. M., dan Bernold L. E. (1994). Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 536-552. <https://www.fmlink.com/articles/missing-link-sustainable-reuse-recycling-building-products>

Intan, S., Ratna, S. A., Lie, A. (2005). Analisa Dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi: Sumber Penyebab, Kuantitas, dan Biaya. *Civil Engineering Dimension*, 7(1): 36-45.

Intan, S., (2004). *Analisa dan Evaluasi Sisa Material Konstruksi pada Pembangunan Ruko di Surabaya*, Tesis Pascasarjana, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Koch, R. (1998). *The 80/20 Principle The Secret Of Achieving More With Less (Second Edi)*, Nicholas Brealey Publishing: London.

Kume, Hitoshi. (1989). *Metode Statistik Untuk Peningkatan Mutu*. Mediyatama Sarana Perkasa: Jakarta.

Kurnia, R. M., Andreas, A., & Tinumbia, N. (2022). Comparison of Cost and Time of Floor Slab Works on Conventional and Bubble Deck Slab Methods. *Jurnal Infrastruktur*, 8(2), 117-125. <https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v8i2.4031>

Kusnadi, Eris. (2011), *Fishbone Diagram & Langkah-langkah Pembuatannya*, http://www.academia.edu/7370005/Blog_Eris_Fishbone_Diagram_dan_Langkah-Langkah_Pembuatannya. [12 Maret 2021]

Kusuma, V.A. (2010). *Evaluasi Sisa Material pada Proyek Gedung Pendidikan dan Laboratorium 89 Lantai Fakultas Kedokteran UNS Tahap 1*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Univeritas Sebelas Maret: Surakarta.

Pertiwi, I. M., Fajar, S. H., dan Wayan, S. K. (2019). Analisis Waste material Konstruksi ada Proyek

Gedung (Studi Kasus pada Proyek Gedung di Kabupaten Badung). *Jurnal SIMETRIK*, 9(1): 186-190.

Poerwanto, Hendra. (2009). *Control Chart: Pengertian, Tujuan, Manfaat, Cara Membuat dan Contoh Control Chart (Peta kendali)*.

Poon, C. S., Yu, A. T. W, Wong, S.W., Cheung, dan Esther. (2004). *Management of Construction Waste in Public Housing Projects in Hongkong Environmental Protection Agency*.

Samsidi, D. H., dan Kosasih, J. M. (2009). *Reduce, Reuce, Recycle, dan Salvage terhadap Construction Waste pada Proyek Konstruksi Surabaya*. Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra: Surabaya.

Setiawan, Bagus. (2013). *Analisis Sisa Material Konstruksi Pada Proyek Pengadilan Negeri Banjarmasin*. Skripsi. Universitas Lambung Mangkurat: Banjarmasin.

Shen, L. Y., Tam, V. W. Y and Tam, C. M. (2002). *Material Wastage in Construction Activities – A Hong Kong Survey. Proceedings of the CIB W107 1st International Conference: Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries*, 11–13 November, Stellenbosch, South Africa.

Skoyles, E.R. (1987). *Waste Prevention on Site*. London: Mitchell

Sunarto, dan Heru, S. W. N. (2020). *Buku Saku Analisis Pareto*. Prodi Kebidanan Magetan Poltekkes Kemenkes Surabaya: Magetan

Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste*. McGraw-Hill. Inc, New Jersey.

Urio, A., dan Brent A. (2006). *Solid Waste Management Strategy In Botswana: The Reduction Of Construction Waste*. *Journal of The South African Institution of Civil Engineering*.

Wijaya, M. I. Rohan, Miftahul Huda. (2020). *Analisis Penyebab Terjadinya Sisa Material Proyek Gedung di Surabaya*. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, 8(2), 149-158. <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v8i2.1036>

Halaman ini sengaja dikosongkan