

ANALISIS *WASTE MATERIAL* PADA PROYEK KONTRUKSI MELALUI PENDEKATAN *FAULT TREE ANALYSIS*

I Wayan Yogi Andika Pratama¹, Ni Putu Indah Yuliana², Anak Agung Putri Indrayanti³

¹Mahasiswa Sarjana Terapan Manajemen Proyek Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri
Bali, Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali–80364

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali, Jalan Kampus Bukit Jimbaran,
Kuta Selatan, Badung, Bali–80364

Email korespondensi: yogiandikapratama88@gmail.com

ABSTRACT

Waste material is one of the critical issues encountered during the implementation of the Hilton Garden Inn Extension Construction Project in Nusa Dua, Badung, Bali. This research, which focuses on the project as a case study, found several types of materials being discarded during structural work execution. An in-depth analysis was therefore conducted to identify the dominant waste materials, their contributing factors, and appropriate handling strategies. The identification of dominant materials was carried out using the Pareto diagram method, followed by calculations of waste level, waste cost, and waste index to evaluate material usage efficiency. Fault Tree Analysis was then applied to determine the root causes of material waste based on basic events. The analysis revealed that the primary waste materials include ready-mix concrete with a compressive strength of $F'c$ 25 MPa, and reinforcement steels D10, D16, and D13. The Fault Tree Analysis results showed that the main causes of waste stem from human factors, design issues, execution errors, management deficiencies, and external influences. Accordingly, the study recommends mitigation strategies including improved supervision, workforce training, and the application of more efficient working methods.

Keywords : Waste Material, Pareto Diagram, Fault Tree Analysis

ABSTRAK

Waste material merupakan salah satu permasalahan krusial yang dihadapi dalam pelaksanaan Proyek Pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension di Nusa Dua, Badung, Bali. Pada objek studi dalam penelitian ini ditemukan sejumlah jenis material yang terbuang selama pelaksanaan pekerjaan struktur. Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam untuk mengetahui jenis material dominan menghasilkan sisa, faktor penyebab dan upaya penanganan *waste material*. Penelitian ini mengidentifikasi jenis material dominan dilakukan dengan metode diagram pareto, yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *waste level*, *waste cost*, dan *waste index*

guna mengevaluasi efisiensi penggunaan material. Selanjutnya, analisis *Fault Tree Analysis* digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab utama terjadinya *waste material* berdasarkan kejadian dasar (*basic event*). Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa material dominan yang menghasilkan *waste* meliputi beton *ready mix* f'_c 25 MPa, besi d10, besi d16, dan besi d13. Dengan pendekatan *Fault Tree Analysis*, penyebab utama *waste material* berasal dari faktor manusia, faktor desain, faktor pelaksanaan, faktor manajemen, dan faktor eksternal. Penelitian ini merekomendasikan strategi penanganan berupa peningkatan pengawasan, pelatihan tenaga kerja, serta penerapan metode kerja yang lebih efisien.

Kata kunci : *Waste Material*, Diagram Pareto, *Fault Tree Analysis*

PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor penting dalam pembangunan infrastruktur yang berperan besar dalam mendukung pertumbuhan ekonomi. Namun, di balik kontribusinya, sektor konstruksi juga menghasilkan permasalahan serius berupa *waste material* (sisa material) yang dapat berdampak pada peningkatan biaya, keterlambatan proyek, serta pencemaran lingkungan [1]. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa sekitar 40–60% dari total biaya proyek terserap pada material, sehingga pengelolaan material secara efektif menjadi aspek krusial dalam manajemen proyek konstruksi [2]. Kabupaten Badung, Bali, sebagai destinasi pariwisata internasional, terus mengalami peningkatan pembangunan infrastruktur, termasuk hotel, villa, pusat perbelanjaan, hingga rumah sakit. Salah satunya adalah proyek pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension di Nusa Dua oleh PT. Tatamulia Nusantara Indah. Dalam pelaksanaan pekerjaan struktur, ditemukan sejumlah material yang terbuang seperti beton ready mix, besi tulangan, kayu, *plywood*, dan kawat bendrat, meskipun upaya pengelolaan melalui konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) dan *salvage* telah diterapkan. Kondisi tersebut menegaskan pentingnya dilakukan analisis untuk mengidentifikasi material yang paling dominan menghasilkan sisa, faktor-faktor penyebab, serta langkah penanganan yang tepat [3]. Dengan menggunakan metode Pareto untuk menentukan material dominan dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menelusuri akar penyebab, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi *waste material* serta meningkatkan efektivitas manajemen proyek konstruksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jenis material dominan yang menghasilkan *waste*, menganalisis faktor penyebab terjadinya *waste material*, dan merumuskan strategi penanganan yang tepat guna meminimalkan dampak *waste* pada proyek konstruksi. Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai masukan bagi kontraktor, konsultan, maupun pihak terkait dalam mengoptimalkan penggunaan material, menekan biaya, serta mendukung penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan [4].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang dilaksanakan pada proyek pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension di Nusa Dua, Badung, Bali. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara dengan pihak proyek, serta penyebaran kuesioner, sedangkan data sekunder berasal dari dokumen kontraktor berupa RAB, *As Built Drawing*, AHSP, dan data logistik. Pengumpulan data dilakukan dengan mencatat volume material terpasang dan sisa, wawancara terkait pengadaan material, serta kuesioner untuk mengetahui faktor penyebab dan solusi *waste material*. Analisis data meliputi identifikasi *consumable material*, perhitungan volume dan biaya sisa, analisis *Pareto Chart* untuk menentukan material dominan, serta perhitungan *waste level*, *waste cost*, dan *waste index*. Faktor penyebab dianalisis menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA), sedangkan strategi penanganan dirumuskan berdasarkan hasil kuesioner.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuantitas Material Pengadaan

Kuantitas pengadaan material diperoleh melalui rekapitulasi data permintaan material stok yang diisi oleh pelaksana lapangan dan diserahkan kepada pihak logistik lapangan. Rekapitulasi kuantitas pengadaan material pada Proyek Pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Rekapitulasi Kuantitas Pengadaan Material

No	Material	Sat	Kuantitas Pengadaan
1	2	3	4
1	Pasir Urug	m3	35,87
2	Lean Concrete F/c 12.5 Mpa	m3	18,04
3	Beton F/c 25 Mpa	m3	961,86
4	Bekisting Balok	m2	383,13
5	Besi D8	kg	1,413,70
6	Besi D10	kg	32,648,59
7	Besi D13	kg	11,130,73
8	Besi D16	kg	11,315,10
9	Besi D19	kg	15,007,13
10	Besi D22	kg	43,192,77
11	Wiremesh ME	m2	2,602,00

Material Terpasang

Material terpasang merupakan data yang menggambarkan jumlah material yang sudah digunakan atau dipasang di lokasi proyek. Rekapitulasi kuantitas material terpasang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Rekapitulasi Material Terpasang

No	Material	Sat	Kuantitas Terpasang
1	2	3	4
1	Pasir Urug	m3	35.15
2	Lean Concrete F'c 12.5 Mpa	m3	17.57
3	Beton Fc 25 Mpa	m3	936.97
4	Bekisting Batako	m2	304.91
5	Besi D8	kg	1384.13
6	Besi D10	kg	30988.12
7	Besi D13	kg	10301.89
8	Besi D16	kg	10151.76
9	Besi D19	kg	15000.70
10	Besi D22	kg	42398.22
11	Wiremesh M8	m2	2534.36

Perhitungan Sisa Material (*Waste Material*)

Tujuan dari perhitungan sisa material (*waste*) adalah untuk mengetahui jumlah material yang tersisa selama proses pelaksanaan proyek. Nilai sisa material ini diperoleh dari selisih antara total material pengadaan dan jumlah material terpasang di lapangan. Rekapitulasi kuantitas sisa material dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Rekapitulasi Sisa Material

No	Material	Sat	Kuantitas Pengadaan	Kuantitas Terpasang	Sisa Material
1	2	3	4	5	6= (4)-(5)
1	Pasir Urug	m3	35.87	35.15	0.72
2	Lean Concrete F'c 12.5 Mpa	m3	18.04	17.57	0.46
3	Beton Fc 25 Mpa	m3	961.86	936.97	24.89
4	Bekisting Batako	m2	383.13	304.91	78.22
5	Besi D8	kg	1.413.70	1384.13	29.57
6	Besi D10	kg	32.648.59	30988.12	1.660.48
7	Besi D13	kg	11.130.73	10301.89	828.84
8	Besi D16	kg	11.315.10	10151.76	1.163.33
9	Besi D19	kg	15.007.13	15000.70	6.43
10	Besi D22	kg	43.192.77	42398.22	794.55
11	Wiremesh M8	m2	2.602.00	2534.36	67.64

Perhitungan Biaya Sisa Material

Perhitungan ini dilakukan sebelum tahapan perangkingan dalam membuat diagram pareto, perhitungan ini dapat dilakukan dengan cara :

$$\text{Volume Sisa Material (Waste)} \times \text{Harga Satuan Material} \quad (1)$$

Untuk detailnya bisa dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Biaya Sisa Material

No	Material	Sat	Kuantitas Pengadaan	Kuantitas Terpasang	Sisa Material	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	2	3	4	5	6= (4)-(5)	7	8= (6) x (7)
1	Pasir Urug	m ³	35.87	35.15	0.72	191.670	138.924
2	Lean Concrete Fc 12.5 Mpa	m ³	18.04	17.57	0.46	1.015.177	469.422
3	beton Fc 25 Mpa	m ³	961.86	936.97	24.89	1.084.845	27.005.950
4	Bekisting Beton	m ²	383.13	304.91	78.22	1.530	4.122.601
5	Besi D8	kg	1.413.70	1384.13	29.57	12.190	360.510
6	Besi D10	kg	32.648.59	30988.12	1.660.48	12.190	20.241.203
7	Besi D13	kg	11.130.73	10301.89	828.84	13.820	11.454.624
8	Besi D16	kg	11.315.10	10151.76	1.163.33	13.820	16.077.270
9	Besi D19	kg	15.007.13	15000.70	6.43	13.820	88.827
10	Besi D22	kg	43.192.77	42398.22	794.55	13.820	10.980.626
11	Wiremesh MR	m ²	2.602.00	2534.36	67.64	14.490	1.112.314
Jumlah							98.652.301

Analisis Diagram Pareto

Menghitung sisa material bertujuan untuk mengidentifikasi material apa saja yang paling banyak tersisa (*dominan*) pada Proyek Pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension. Perhitungan sisa *waste material* yang sudah dirangkinkan sesuai harga sisa material tertinggi ke terendah dapat dilihat di Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Perangkingan dan Bobot Sisa Material Kumulatif

No	Material	Sat	Kuantitas Pengadaan	Kuantitas Terpasang	Sisa Material	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)	Bobot (%)	Bobot Kumulatif (%)
1	2	3	4	5	6= (4)-(5)	7	8= (6) x (7)	9	10
3	Beton Fc 25 Mpa	m ³	961.86	936.97	24.89	1.084.845	27.005.950	27.37%	27.37%
6	Besi D10	kg	32.648.59	30988.12	1.660.48	12.190	20.241.203	20.52%	47.89%
8	Besi D16	kg	11.315.10	10151.76	1.163.33	13.820	16.077.270	16.39%	64.28%
7	Besi D13	kg	11.130.73	10301.89	828.84	13.820	11.454.624	11.61%	75.89%
10	Besi D22	kg	43.192.77	42398.22	794.55	13.820	10.980.626	11.13%	86.99%
11	Wiremesh MR	m ²	2.602.00	2534.36	67.64	14.490	1.112.314	1.12%	88.11%
4	Bekisting Beton	m ²	383.13	304.91	78.22	1.530	4.122.601	4.18%	92.29%
2	Lean Concrete Fc 12.5 Mpa	m ³	18.04	17.57	0.46	1.015.177	469.422	0.48%	92.77%
5	Besi D8	kg	1.413.70	1384.13	29.57	12.190	360.510	0.37%	93.14%
1	Pasir Urug	m ³	35.87	35.15	0.72	191.670	138.924	0.14%	93.28%
9	Besi D19	kg	15.007.13	15000.70	6.43	13.820	88.827	0.09%	100.00%
Jumlah							98.652.301	100.00%	

Setelah merangking sisa material, selanjutnya dibuatkan suatu grafik diagram pareto yang menunjukkan sisa material apa saja yang mendominasi atau menghasilkan sisa material dalam jumlah banyak, seperti pada gambar 1 di bawah ini



Gambar 1. Diagram Pareto *Waste Material*

Menentukan material yang perlu dianalisis lebih lanjut, dipilih item yang memiliki persentase kumulatif $\leq 80\%$, sesuai prinsip hukum pareto 80:20. Material sisa konstruksi yang tergolong dominan pada proyek ini sesuai metode pareto ialah Beton F'c 25 Mpa, besi D10, besi D16, dan besi D13.

Waste Level

Perhitungan *waste level* ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2

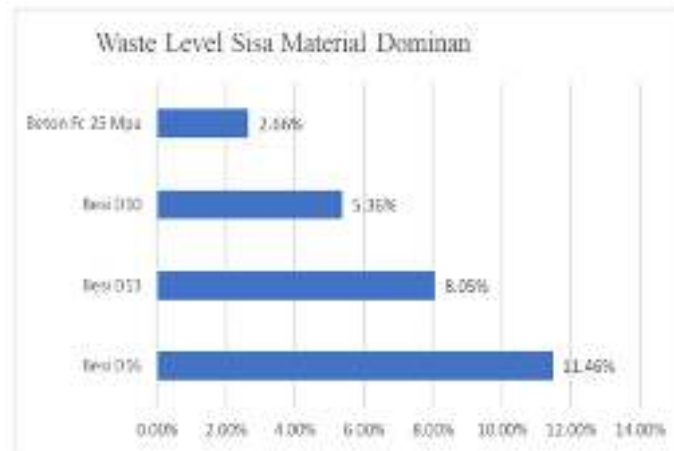
$$\text{Waste level} = \frac{\text{kualitas sisa material}}{\text{kualitas material terpasang}} \times 100 \quad (2)$$

Perhitungan *waste level* seluruh *waste material* dominan dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini

Tabel 6. *Waste Level* Material Dominan

No	Material	Sat	Kuantitas Pengadaan	Kuantitas Terpasang	Sisa Material	Waste Level (%)
1	2	3	4	5	6 = (4) - (5)	7 = (6) / (5) * 100
1	Besi D16	kg	11,315.10	10,151.76	1,163.33	11.98%
2	Besi D13	kg	11,130.73	10,301.89	828.84	8.05%
3	Besi D10	kg	32,648.59	30,988.12	1,660.48	5.36%
4	Beton Fc 25 Mpa	m3	961.86	936.97	24.89	2.66%

Dari hasil perhitungan *waste level* di atas, akan didapatkan grafik yang menggambarkan *waste level* tersebut dari persentase yang tertinggi hingga terendah. Adapun grafik *waste level* dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Grafik Histogram *Waste Level*

Waste Cost

Perhitungan *waste cost* ini dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3

$$\text{waste cost} = \text{waste level} \times \text{bobot pekerjaan} \times \text{total biaya proyek} \quad (3)$$

Perhitungan *waste cost* seluruh waste material dominan dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini

Tabel 7. *Waste Cost* Material Dominan

No	Material	Sat	Kuantitas Pengadaan	Waste Level (%)	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)	Bobot Pekerjaan (%)	Waste Cost (Rp)
1	2	3	4	5	6	7 = (4) x (6)	8	9
1	Beton Fc 25 Mpa	m3	961.86	2.66%	1,084,945	1,043,565,198	13.04%	27,723,391
2	Besi D10	kg	32,648.59	5.36%	12,190	397,986,329	4.97%	21,325,813
3	Besi D16	kg	11,315.10	11.46%	13,820	156,374,656	1.95%	17,919,632
4	Besi D13	kg	11,130.73	8.05%	13,820	153,826,745	1.92%	12,376,212

Waste Index

Perhitungan *waste index* menggunakan rumus 4 pada Proyek Pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension adalah sebagai berikut:

$$Waste\ index = \frac{W\ proyek}{GFA} \quad (4)$$

$$Waste\ Index = \frac{5m^3 \times 1 \times 1 \times 24}{1220\ m^2} = 0.098\ m^3/m^2$$

Dari hasil perhitungan *waste index* diatas dapat diartikan bahwa setiap m² dari lahan Proyek Pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension menghasilkan sisa material sebesar 0,098 m³/m² dengan klasifikasi tingkatan *waste index* yang tinggi dengan rentan >0,02 m³/m² atau lebih besar dari 0,02 m³/m²

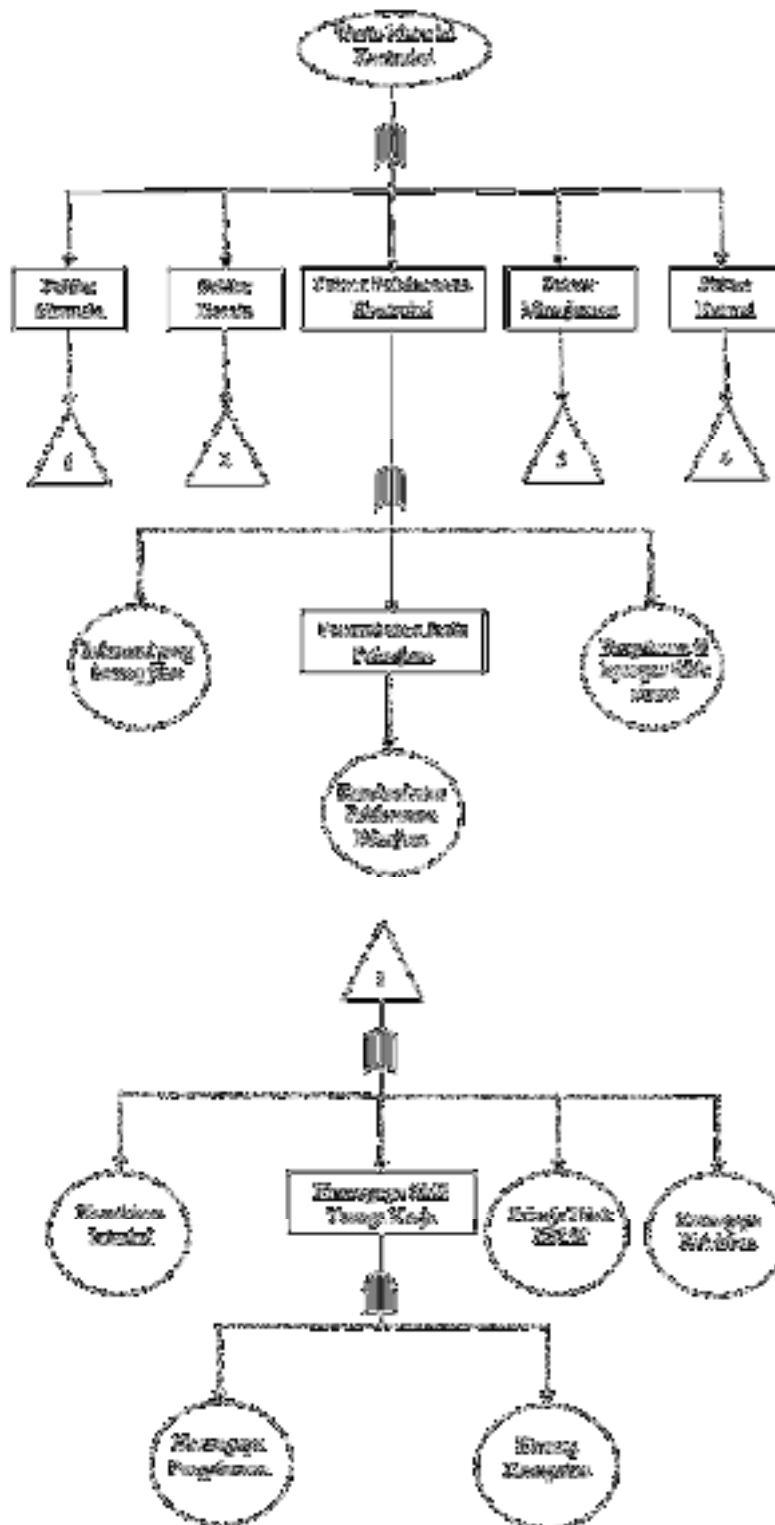
Faktor Penyebab Sisa Material

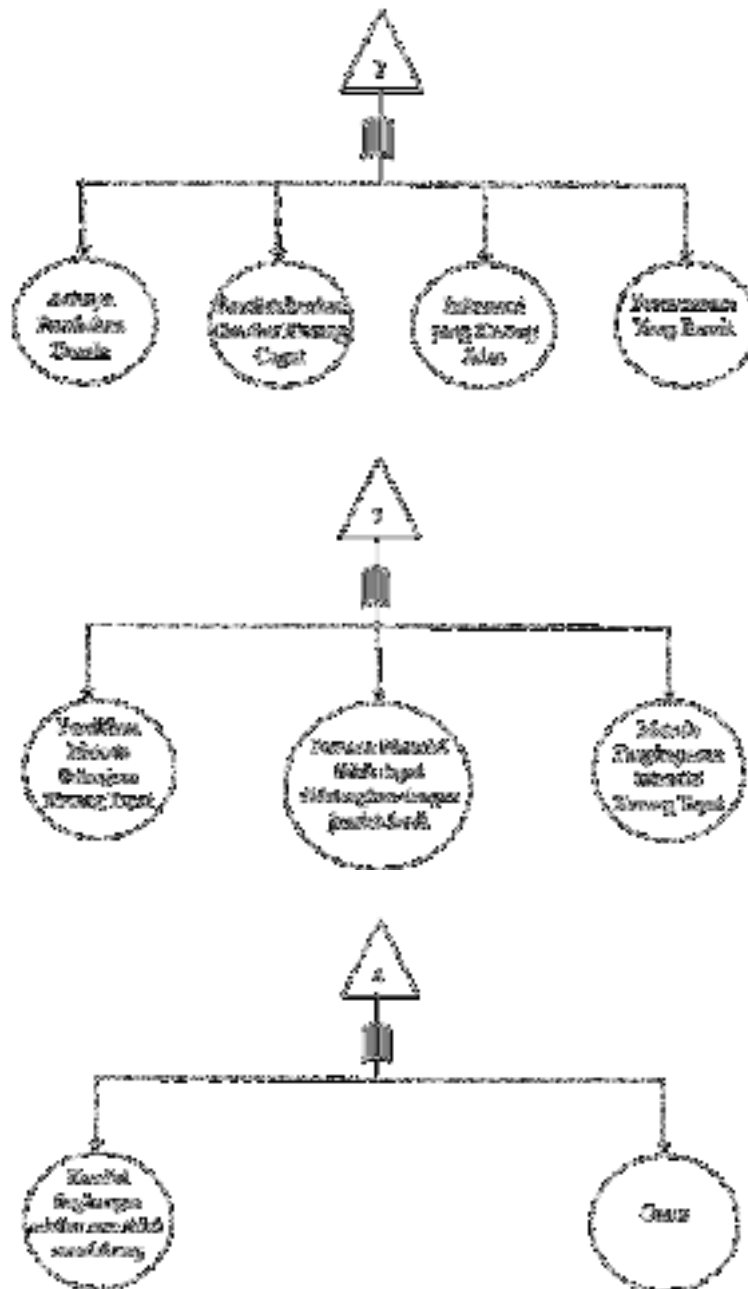
Berdasarkan hasil kuesioner tersebut didapatkan *intermediate event* dan *basic event* pada Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8. Intermediate Event dan Basic Event

INTERMEDIATE EVENT	BASIC EVENT
FAKTOR MANUSIA	
Kurangnya Skill Tenaga Kerja	Kesalahan Instruksi
	Pekerja Tidak Efektif
	Kurangnya Ketelitian
	Kurangnya Pengalaman
	Kurang Kompeten
FAKTOR DESAIN	
	Adanya Perubahan Desain
	Pendistribusian Gambar
	Kurang Cepat
	Informasi yang kurang jelas
	Perencanaan Yang Rumit
FAKTOR PELAKSANAAN KONTRUKSI	
Perubahan Jenis Pekerjaan	Informasi yang kurang jelas
	Perubahan di lapangan
	Kesalahan dalam pelaksanaan pekerjaan
FAKTOR MANAJEMEN	
	Perencanaan waktu pelaksanaan
	Kurangnya Waktu
	Perencanaan tidak
	tepat dalam hal waktu
	Perencanaan yang kurang
	komprehensif dalam hal waktu
FAKTOR EKSTERNAL	
	Kurangnya koordinasi
	Perencanaan yang kurang
	komprehensif

Langkah selanjutnya adalah melakukan penggambaran *fault tree analysis*. Berikut Pada Gambar 3 penggambaran *fault tree analysis* untuk *waste material* konstruksi dominan pada proyek Pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension :





Gambar 3. *Fault Tree Analysis*

Tahap selanjutnya adalah menyusun langkah-langkah untuk meminimalkan terjadinya sisa material. Analisis ini didasarkan pada pendapat dan pengalaman pelaksana lapangan selama proses pelaksanaan proyek berlangsung. Terdapat beberapa langkah yang dapat diterapkan untuk menekan terjadinya *waste material* secara lebih efektif.

Upaya penanganan *waste material* pada proyek konstruksi dapat dilakukan melalui berbagai aspek, yaitu

1. faktor manusia dengan meningkatkan komunikasi, pelatihan, serta pengawasan kerja
2. faktor desain dengan memperkuat koordinasi, menyusun desain final yang matang, dan melakukan simulasi perencanaan
3. faktor pelaksanaan dengan mengadakan rapat koordinasi rutin dan menggunakan alat ukur digital
4. faktor manajemen melalui perencanaan material yang akurat dan penyediaan tempat penyimpanan standar
5. faktor eksternal dengan survei lokasi, penyesuaian metode kerja, penjadwalan sesuai kondisi cuaca, dan perlindungan material dari cuaca ekstrem.

KESIMPULAN

Hasil penelitian pada Proyek Pembangunan Hotel Hilton Garden Inn Extension menunjukkan bahwa material yang paling dominan menghasilkan *waste* adalah beton *ready mix f'c* 25 MPa dengan persentase 27,37%, besi D10 sebesar 20,52%, besi D13 sebesar 16,30%, dan besi D16 sebesar 11,61%. Dari segi *waste level*, besi D16 menempati posisi tertinggi dengan 11,46%, diikuti besi D13 sebesar 8,05%, besi D10 sebesar 5,36%, serta beton *ready mix* sebesar 2,66%. Namun demikian, jika dilihat dari segi biaya, *waste cost* terbesar justru berasal dari beton *ready mix f'c* 25 MPa dengan nilai Rp 27.723.391, kemudian disusul oleh besi D10 sebesar Rp 21.325.813, besi D16 sebesar Rp 17.919.632, dan besi D13 sebesar Rp 12.376.212. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *waste level* suatu material rendah, harga material yang tinggi tetap memberikan dampak finansial yang signifikan terhadap proyek.

Selain itu, nilai *waste index* proyek sebesar 0,098 m³/m² termasuk dalam kategori tinggi karena berada di atas batas 0,02 m³/m². Kondisi ini menegaskan bahwa tingginya *waste* pada material utama seperti besi dan beton dapat berdampak langsung pada penurunan profit margin proyek, mengingat material menyumbang sekitar 40–60% dari total biaya konstruksi. Dengan demikian, pengendalian *waste* material menjadi aspek yang sangat penting untuk menjaga efisiensi biaya dan keberhasilan proyek.

Faktor penyebab *waste* material pada proyek ini meliputi aspek manusia, desain, pelaksanaan, manajemen, dan eksternal, seperti kurangnya komunikasi, keterampilan, koordinasi teknis, perencanaan material yang tidak akurat, serta pengaruh medan dan cuaca. Untuk meminimalkan hal tersebut, diperlukan strategi berupa peningkatan komunikasi dan pelatihan tenaga kerja, pengawasan ketat,

koordinasi desain yang matang, rapat teknis rutin, penggunaan teknologi ukur, perencanaan material yang tepat, serta antisipasi kondisi lapangan dan cuaca. Secara keseluruhan, pengendalian *waste material* membutuhkan perencanaan yang baik, koordinasi efektif, serta pemanfaatan teknologi dan manajemen modern guna meningkatkan efisiensi, menekan biaya, dan mendukung keberlanjutan proyek konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. I. Ervianto, “Manajemen Proyek Konstruksi Edisi Ketiga,” *Manaj. Proy. Konstr. Revisi*, p. Edisi Revisi, Andi, Yogyakarta, 2006.
- [2] R. H. Saputra, “Analisis Pengaruh Penerapan Lean Construction Pada Waste Material Terhadap Kinerja Proyek Konstruksi,” *J. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 45–52, 2023, doi: 10.36546/tekniksipil.v13i1.964.
- [3] A. G. N. R. Diva, I. I. W. Sudiasa, and I. N. Ramia, “Analisis Waste Material Proyek Berbasis Metode Pareto dan Fault Tree Analysis,” *Repos. Politek. Negeri Bali*, pp. 1–7, 2022.
- [4] B. F. Putra, “Analisis Faktor Penyebab Dan Mitigasi Waste Pada Proyek Konstruksi Gedung Di Kota Surabaya,” *Tesis*, pp. 1–131, 2018.