

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Identifikasi Faktor Penyebab Waste Proyek

Survei pendahuluan merupakan langkah yang dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab waste pada proyek sebelum dilakukan survei utama. Variabel penyebab waste awalnya didapat dari literatur kemudian ditambahkan dengan variabel pada survei pendahuluan ini apabila variabel tersebut belum tercantum dalam literatur. Kuesioner pendahuluan disebarkan kepada manajer proyek atau officer yang terlibat langsung dalam proyek Toll KLBM.

4.1.1 Gambaran Responden Penelitian

Responden yang berpartisipasi merupakan manajer atau perwakilan dari manajer yang memiliki pemahaman terhadap proyek yang sedang dikerjakan. Profil responden kuesioner yang berkontribusi pada survei pendahuluan ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Profil Responden pada Survei Pendahuluan

No	Nama	Jabatan
1	Vickara Dolly	Site Operational Manager (Kepala Lapangan)
2	Isnain Fuadhy	Site Contract Administration & Risk Manager (Kasie Adkont)
3	Nadya	Site Contract Administration & Risk Officer (Staff Adkont)
4	Recky	Site Procurement Logistic & Equipment Manager (Kasie LogLat)
5	Nanto	Site Procurement Logistic & Equipment Officer (Staff LogLat)
6	Ratih	Site Procurement Logistic & Equipment Officer (Staff LogLat)
Lanjutan responden pada halaman berikutnya		

7	M. Hero Setiawan	Public Relations (Humas)
8	Rahmad	Site Engineering Officer (Staff Teknik)
9	Nur Rochim	Site Engineering Officer (Staff Teknik)
10	Ivan David	Site Engineering Officer (Staff Teknik)
11	Abdul Halim	Site Engineering Officer (Staff Teknik)

Sumber : Olahan Penulis (2020)

4.1.2 Hasil Survey Pendahuluan

Hasil survei pendahuluan bertujuan untuk membandingkan faktor-faktor penyebab waste yang telah didapat dari literatur, dengan faktor penyebab waste yang terjadi di proyek Toll KLBM. Survei pendahuluan dilakukan dengan memperoleh variabel yang dikemukakan oleh responden, dengan dibantu oleh variabel yang telah didapatkan dari literatur.

Hasil survei pendahuluan tentang faktor penyebab waste yang telah dikumpulkan dan dari responden adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Survei pendahuluan faktor penyebab adanya waste proyek Toll KLBM

No	Variabel	Kategori	Responden											%
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Konstruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain	Desain	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓	72.73%
2	Perencana kurang kompeten		✓					✓	✓		✓	✓	✓	54.55%
3	Adanya miskomunikasi perencanaan desain		✓	✓					✓				✓	36.36%

4	Tempat material besi kurang laik	Material	✓	✓	✓		✓							36.36%
5	Kesalahan penanganan material besi		✓	✓	✓	✓					✓			45.45%
6	Material besi tidak dilindungi dengan benar				✓		✓						✓	27.27%
7	Pekerja memiliki sifat buruk	Pekerja												0%
8	Sering terjadi pergantian pekerja				✓	✓								18.18%
9	Pekerja kurang diseleksi							✓						9.09%
10	Pekerja kurang pelatihan		✓			✓	✓	✓						36.36%
11	Alat hitung kurang akurat		✓	✓	✓				✓					36.36%
12	Miskomunikasi dalam pengadaan	Pengadaan			✓		✓							18.18%
13	Material besi tercecer/terbuang				✓						✓			18.18%
14	Material besi hilang/vandalisme		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	90.91%

Sumber : Olahan Penulis (2020)

Tanda “✓” menunjukan bahwa responden menyetujui faktor penyebab waste tersebut terjadi pada proyek Toll KLBM. Dari survei pendahuluan menunjukan hasil faktor yang paling umum terjadi adalah material besi hilang/vandalisme dengan prosentase sebanyak 90.91% responden yang menyetujuinya. Selanjutnya faktor adanya perubahan desain yang dilakukan owner disaat konstruksi sedang berjalan dengan

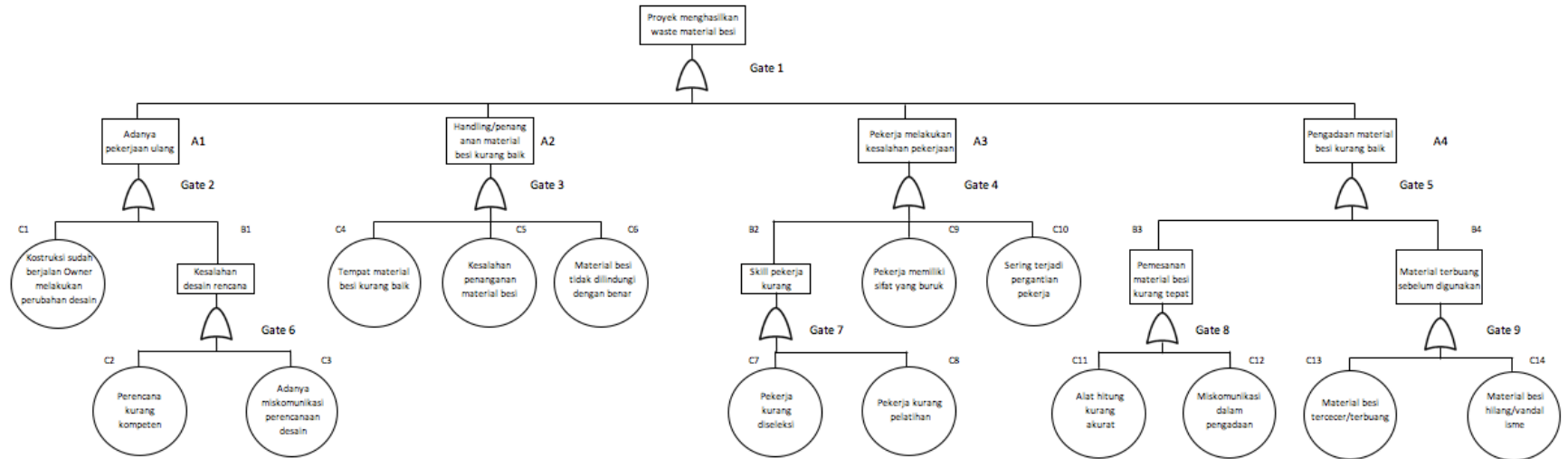
prosentase sebesar 72.73% dan yang ketiga sebanyak 54.55% untuk faktor perencanaan kurang kompeten.

4.1.3 Fault Tree Analysis

Beberapa penyebab adanya waste yang ditunjukkan oleh responden dihubungkan satu sama lain sehingga membentuk suatu hubungan dalam tree analysis. Dalam teori Fault Tree Analysis umumnya digunakan AND gate dan OR gate, untuk membentuk hubungan antar event atau kejadian penyebab. Simbol OR digunakan ketika sebuah event disebabkan oleh salah satu kejadian atau ada salah satu faktor yang paling dominan terjadi. Sedangkan, simbol AND digunakan ketika sebuah kejadian disebabkan oleh semua kejadian yang menjadi faktor penyebabnya yang terjadi secara bersamaan.

Dari analisis kuesioner pendahuluan yang telah dilakukan, maka diketahui faktor – faktor penyebab waste menurut responden.

Pohon faktor yang disusun berdasarkan hasil analisis survei pendahuluan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Pohon Faktor Penyebab Waste besi

Faktor desain berkaitan dengan pekerjaan dikarenakan desain merupakan acuan untuk melakukan pekerjaan. Apabila terjadi perubahan desain saat konstruksi sedang berjalan maka dibutuhkan *rework* atau pembongkaran. Dalam kategori ini, faktor yang menjadi penyebab waste besi adalah konstruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain, perencana yang kurang kompeten, dan terjadi miskomunikasi dalam perencanaan desain.

Faktor *handling*/penanganan material besi juga menjadi salah satu kategori faktor penyebab waste. Apabila material ditempatkan pada tempat yang tidak sesuai, maka akan mengalami kerusakan dan tidak dapat digunakan. Faktor penyebab waste yang masuk dalam kategori penanganan material adalah tempat material besi kurang baik, kesalahan penanganan material besi, dan material besi yang tidak dilindungi dengan benar.

Faktor selanjutnya adalah pekerja. Pekerja adalah pelaku utama dalam pelaksanaan proyek. Apabila keahlian dan sifat pekerja kurang baik, maka akan berdampak langsung pada produk pekerjaan, Faktor penyebab waste yang masuk dalam kategori ini adalah pekerja memiliki sifat yang buruk, sering terjadi pergantian pekerja, pekerja kurang diseleksi dengan tepat, dan pekerja kurang pelatihan sehingga skill kurang.

Faktor yang keempat adalah mengenai pengadaan. Proses pengadaan mulai dari pemesanan hingga material besi datang juga mempengaruhi adanya waste proyek. Pemesanan yang berlebih akan menghasilkan material besi yang tidak terpakai. Pemesanan yang kurang akurat juga menyebabkan adanya waste. Faktor penyebab waste yang masuk dalam kategori ini adalah salah hitung volume, miskomunikasi dalam pengadaan, material besi terbuang tercecer saat transportasi, dan adanya vandalisme atau pencurian.

Dari survei pendahuluan didapatkan empat intermediate event yang merupakan penyebab dari top event yakni Proyek menghasilkan waste material. Empat faktor atau event dibawahnya sebagai intermediate event adalah adanya pekerjaan ulang, handling atau penanganan material yang kurang baik, pekerja melakukan kesalahan dalam pekerjaan, dan faktor pengadaan material yang kurang baik. Pada tingkatan selanjutnya diperoleh faktor pula yang menjadi penyebab terjadinya intermediate event tersebut. Faktor penyebab ini dapat berupa basic event yang merupakan faktor dasar yang tidak dapat diuraikan kembali atau merupakan intermediate event yang

masih dapat dilanjutkan kepada tingkatan yang lebih dasar hingga didapatkan basic event.

Untuk mengetahui hubungan basic event dan top event, maka dilakukan penentuan cut set. Cut set merupakan serangkaian basic event yang bila mengalami kegagalan dapat berakibat pada kegagalan pada sistem atau terjadinya top event. Cut set berisikan kombinasi pembentuk pohon kesalahan yang mana bila semua terjadi akan menyebabkan peristiwa puncak terjadi. Sedangkan, minimal cut set merupakan set minimal yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem. Untuk menentukan minimal cut set digunakan metode algoritma MOCUS (Method for Obtaining Cut Sets).

Tabel 4.3 Algoritma MOCUS untuk mendapatkan minimal cut set

LANGKAH			
0	1	2	3
Gate 1	Gate 2	C1	C1
		Gate 6	C2
			C3
	Gate 3	C4	C4
		C5	C5
		C6	C6
	Gate 4	Gate 7	C7
			C8
		C9	C9
		C10	C10
	Gate 5	Gate 8	C11
			C12
		Gate 9	C13
			C14

Sumber : Olahan Penulis (2020)

Langkah dalam algoritma MOCUS adalah sebagai berikut :

1. Langkah 1

Identifikasi event yang menjadi input dari Gate1. Event yang menjadi input dari Gate1 disusun secara vertikal karena Gate1 merupakan OR gate.

2. Langkah 2

Gate2 merupakan OR gate, sehingga event yang menjadi input Gate 2, yaitu kejadian C1 dan Gate6 di-list secara vertikal. Gate3, Gate4, dan Gate5 juga merupakan OR gate, sehingga event yang menjadi input gate tersebut masing- masing juga disusun kembali secara vertikal.

3. Langkah 3

Event C1 merupakan basic event, karena tidak memiliki input, sehingga event ini tidak dapat dikembangkan. Sedangkan Gate6 yang merupakan OR gate memiliki input event C2 dan C3, kemudian ditulis secara vertikal. Event C4, C5, dan C6 merupakan basic event yang tidak dapat dikembangkan kembali. Gate7 memiliki basic event C7 dan C8 dan disusun secara vertikal, karena Gate7 adalah OR gate. Event C9 dan C10 merupakan basic event sehingga tidak dapat dikembangkan lagi. Gate8 dan Gate9 adalah OR gate yang memiliki input masing-masing C11, C12, C13, dan C14. Input tersebut disusun secara vertikal.

Semua event yang didapatkan pada langkah 3 dengan algoritma MOCUS merupakan basic event, sehingga didapatkan minimal cut set untuk fault tree tersebut adalah {C1}, {C2}, {C3}, {C4}, {C5}, {C6}, {C7}, {C8}, {C9}, {C10}, {C11}, {C12}, {C13}, {C14}.

a. Analisa cut set adanya pekerjaan ulang

$$A1 = C1 + B1$$

$$B1 = C2 + C3$$

$$\text{Jadi, } A1 = C1 + C2 + C3$$

Minimum cut set untuk kejadian adanya pekerjaan ulang adalah {C1}, {C2}, {C3},

Hasil minimum cut set kejadian adanya pekerjaan ulang menghasilkan tiga basic event, yaitu konstruksi sudah berjalan owner melakukan perubahan desain, perencana kurang kompeten, adanya miskomunikasi perencanaan desain.

b. Analisa cut set handling/penanganan material besi kurang baik

$$A2 = C4 + C5 + C6$$

Minimum cut set handling/penanganan material besi kurang baik adalah {C4}, {C5}, {C6},

Hasil minimum cut set handling/penanganan material besi kurang baik menghasilkan tiga basic event, yaitu tempat material besi kurang baik, kesalahan penanganan material besi, dan material besi tidak dilindungi dengan benar.

c. Analisa cut set pekerja melakukan kesalahan pekerjaan

$$A3 = B2 + C9 + C10$$

$$B2 = C7 + C8$$

$$\text{Jadi, } A3 = C7 + C8 + C9 + C10$$

Minimum cut set untuk adanya pekerja melakukan kesalahan pekerjaan adalah {C7}, {C8}, {C9}, {C10},

Hasil minimum cut set adanya pekerja melakukan kesalahan pekerjaan empat basic event, yaitu pekerja kurang diseleksi, pekerja kurang pelatihan, pekerja memiliki sifat yang buruk, dan sering terjadi pergantian pekerja.

d. Analisa cut set pengadaan material besi kurang baik

$$A4 = B3 + B4$$

$$B3 = C11 + C12$$

$$B4 = C13 + C14$$

$$\text{Jadi, } A4 = C11 + C12 + C13 + C14$$

Minimum cut set untuk pengadaan material besi kurang baik adalah {C11}, {C12}, {C13}, {C14},

Hasil minimum cut set pengadaan material besi kurang baik empat basic event, yaitu alat hitung kurang akurat, miskomunikasi dalam pengadaan, material besi tercecer/terbuang, dan material besi hilang/vandalisme.

Hasil rekap keseluruhan minimum cut set proyek Toll KLBM menghasilkan material waste besi dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Basic Event Penyebab Terjadinya Waste Pada Proyek Toll KLBM

No.	Faktor	Penyebab
1	Adanya pekerjaan ulang	- Kostruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain
		- Perencana kurang kompeten
		- Adanya miskomunikasi perencanaan desain
2	Handling/penanganan material besi kurang baik	- Tempat material besi kurang baik
		- Kesalahan penanganan material besi
		- Material besi tidak dilindungi dengan benar
3	Pekerja melakukan kesalahan pekerjaan	- Pekerja kurang diseleksi
		- Pekerja kurang pelatihan
		- Pekerja memiliki sifat yang buruk
		- Sering terjadi pergantian pekerja
4	Pengadaan material besi kurang baik	- Alat hitung kurang akurat
		- Miskomunikasi dalam pengadaan
		- Material besi tercecer/terbuang
		- Material besi hilang/vandalisme

Sumber : Olahan Penulis (2020)

4.2 Identifikasi Faktor Penyebab Waste Terbesar

Survei utama dilakukan setelah faktor penyebab waste didapatkan dari analisis fault tree. Survei utama bertujuan untuk mengetahui probabilitas kejadian setiap faktor penyebab dan bagaimana dampak yang diakibatkan oleh faktor penyebab tersebut. Identifikasi faktor penyebab waste terbesar diperoleh berdasarkan hasil expected monetary value terbesar. Perhitungan expected

monetary value membutuhkan dua komponen yaitu probabilitas kejadian dan dampak akibat kejadian tersebut.

4.2.1 Gambaran Umum Responden Proyek Toll KLBM

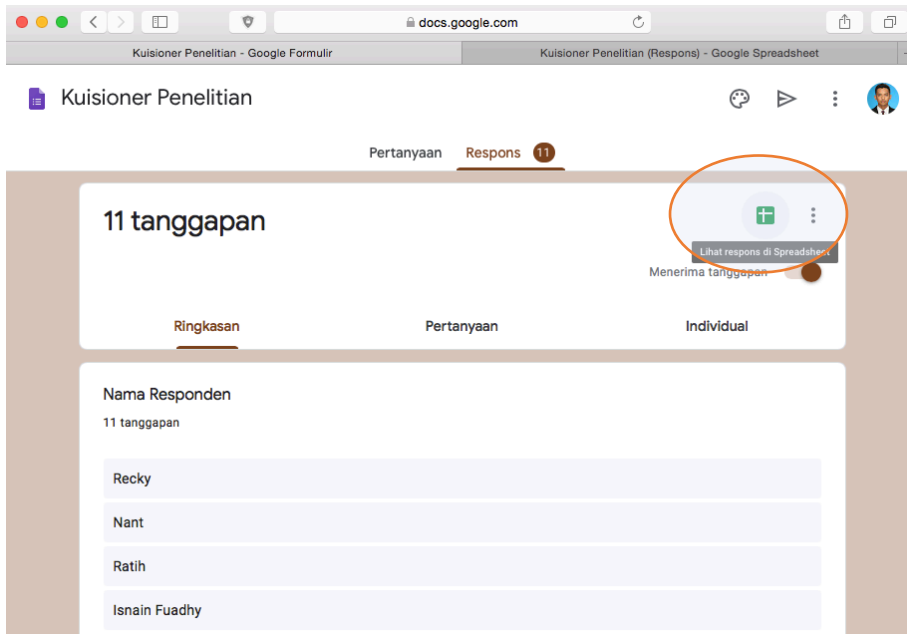
Survei utama dilakukan kepada manajer beserta officer pada proyek Toll KLBM yang menjadi partisipan pada survei pendahuluan. Proyek yang menjadi tempat survei utama merupakan proyek Toll KLBM. Kuesioner utama diberikan kepada 17 orang , dan kembali sebanyak 11 respond dengan 6 orang tidak dapat memberikan data. Dalam survei utama, diperoleh probabilitas untuk masing-masing basic event dan dampak yang ditimbulkan.

4.2.2 Probabilitas Kejadian berdasarkan Fault Tree

Setiap probabilitas basic event secara keseluruhan pada pohon faktor dapat diperoleh dengan perhitungan setiap cabang pohon faktor. Probabilitas diukur dengan range 0,00 hingga 1,00 dimana angka 0,00 menunjukkan kejadian tersebut tidak terjadi dan angka 1,00 menunjukkan suatu kejadian sering terjadi. Dari data yang diberikan oleh responden, probabilitas diolah dengan menggunakan Spreadsheet.

Setelah data didapatkan dengan Spreadsheet kita olah dengan menggunakan *Microsoft Excell* kita gunakan tool sort untuk mendapatkan urutan responden dan juga urutan basic event sesuai *fault tree*, dengan data sebagai berikut:

Gambar 4.2 Spreadsheet pada Google Form



Gambar 4.3 Hasil Spreadsheet

The screenshot shows the Google Spreadsheet 'Kuisisioner Penelitian (Respons)'. The data table is as follows:

	A	B	C	D	E	
1	Timestamp	Nama Responden	Jabatan	1. Adanya pekerjaan ulan	2. Owner melakukan peru	3. Kesali
2	19/05/2020 15:05:23	Recky	SPLEM	4	4	
3	19/05/2020 15:16:52	Nant	Spleo	4	3	
4	19/05/2020 15:17:34	Ratih	SPLEO	5	5	
5	19/05/2020 15:22:21	Isnain Fuadhy	Scarm	5	4	
6	19/05/2020 15:23:21	Rahmad	SEO engineering	2	2	
7	19/05/2020 19:14:22	Moehammad Hero Setiaw	HUMAS KLB M 2	5	5	
8	20/05/2020 7:29:44	Nur rochim	SEO	4	5	
9	20/05/2020 11:20:41	Vickara dolly	Site Operasional Manage	3	4	
10	22/05/2020 14:17:56	Nadya	SCAR Officer	5	5	
11	29/05/2020 10:01:31	Abdul Halim	SEO	3	5	
12	29/05/2020 10:02:46	Ivan david kristanto	SEO	2	2	
13						
14						

Gambar 4.4 Hasil olah dengan Microsoft Excell

KODE	A1	A2	A3	A4
C1	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C2	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C3	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C4	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C5	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C6	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C7	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C8	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C9	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C10	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C11	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C12	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C13	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
C14	Owner melakukan perubahan desain ketika konstruksi sudah berjalan	Perencana kurang kompeten	Terjadi miskomunikasi perencanaan desain	Tempat material yang kurang baik
TOTAL C	44	39	32	36
PROBABILITAS C	0.38	0.34	0.28	0.34
TOTAL A	115	107	120	139

Hasil yang didapat dari olah dengan Microsoft Excell setiap *basic event* dapat ditampilkan dengan tabel sebagai berikut.

Tabel 4.5 Probabilitas Setiap *Basic Event* dalam pohon faktor

Kode	Penyebab	Hasil
C1	Konstruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain	0.38
C2	Perencana kurang kompeten	0.34
C3	Adanya miskomunikasi perencanaan desain	0.28
Lanjutan probabilitas pada halaman ini		
C4	Tempat material besi kurang baik	0.34
C5	Kesalahan penanganan material besi	0.35
C6	Material besi tidak dilindungi dengan benar	0.32
C7	Pekerja kurang diseleksi	0.23
C8	Pekerja kurang pelatihan	0.27

C9	Pekerja memiliki sifat yang buruk	0.23
C10	Sering terjadi pergantian pekerja	0.28
C11	Alat hitung kurang akurat	0.24
C12	Miskomunikasi dalam pengadaan	0.21
C13	Material besi tercecer/terbuang	0.22
C14	Material besi hilang/vandalisme	0.34

Sumber : Olahan Penulis (2020)

4.2.3 Probabilitas Pada Fault Tree Analysis

Faktor-faktor penyebab waste yang telah disusun dengan menggunakan metode fault tree seperti yang tertera pada gambar 4.1 dapat dicari nilai probabilitasnya dengan menggunakan metode numerik yang bersifat bottom-up approach. Berikut adalah perhitungannya :

a. Perhitungan adanya pekerjaan ulang (A1)

Variabel A1 memiliki gate OR dimana komponennya adalah C1 dan B1. Variabel B1 juga memiliki gate OR dengan komponen C2 dan C3. Jadi perhitungan probabilitas A1 dimulai dari perhitungan variabel B1.

$$P(B1) = P(C2 \cup C3)$$

$$P(B1) = 1 - (1 - P(C2)) \cdot (1 - P(C3))$$

$$P(B1) = 1 - (1 - 0.34) \times (1 - 0.28) = 0.52$$

$$P(A1) = P(C1 \cup B1)$$

$$P(A1) = 1 - (1 - P(C1)) \cdot (1 - P(B1))$$

$$P(A1) = 1 - (1 - 0.38) \times (1 - 0.52) = 0.702$$

Jadi, probabilitas untuk variabel adanya pekerjaan ulang sebesar 0.702

- b. Perhitungan handling material besi kurang baik (A2)

Variabel A2 berupa gate OR dimana komponennya adalah C4, C5, dan C6. Jadi perhitungan probabilitas A2.

$$P(A2) = P(C4 \cup C5 \cup C6)$$

$$P(A2) = P(C4) + P(C5) + P(C6) - P(C4 \cap C5) - P(C4 \cap C6) - P(C5 \cap C6) + P(C4 \cap C5 \cap C6)$$

$$P(A2) = P(C4) + P(C5) + P(C6) - P(C4).P(C5) - P(C4).P(C6) - P(C5).P(C6) + P(C4).P(C5).P(C6)$$

$$P(A2) = 0.34 + 0.35 + 0.32 - 0.34 \times 0.35 - 0.34 \times 0.32 - 0.35 \times 0.32 + 0.34 \times 0.35 \times 0.32 = 0.708$$

Jadi, probabilitas untuk variabel handling material besi kurang baik sebesar 0.708

- c. Perhitungan pekerja melakukan kesalahan pekerjaan (A3)

Variabel A3 dengan gate OR memiliki input B2, C9, dan C10. Variabel B2 memiliki input C7 dan C8, dengan gate OR. Maka perhitungan dimulai dari variabel B2.

$$P(B2) = P(C7 \cup C8)$$

$$P(B2) = 1 - (1 - P(C7)).(1 - P(C8))$$

$$P(B2) = 1 - (1 - 0.23) \times (1 - 0.27) = 0.43$$

$$P(A3) = P(B2 \cup C9 \cup C10)$$

$$P(A3) = P(B2) + P(C9) + P(C10) - P(B2 \cap C9) - P(B2 \cap C10) - P(C9 \cap C10) + P(B2 \cap C9 \cap C10)$$

$$P(A3) = P(B2) + P(C9) + P(C10) - P(B2).P(C9) - P(B2).P(C10) - P(C9).P(C10) + P(B2).P(C9).P(C10)$$

$$P(A3) = 0.43 + 0.23 + 0.28 - 0.43 \times 0.23 - 0.43 \times 0.28 - 0.23 \times 0.28 + 0.43 \times 0.23 \times 0.28 = 0.68$$

Jadi, probabilitas untuk variabel pekerja melakukan kesalahan pekerjaan sebesar 0.68

d. Perhitungan pengadaan material besi kurang baik (A4)

Variabel A4 memiliki gate OR dengan komponen B3 dan B4. Variabel B3 sendiri juga memiliki komponen C11 dan C12 dengan gate OR. Sedangkan Variabel B4 juga memiliki komponen C13 dan C14 dengan gate OR. Maka perhitungan dimulai dengan menghitung probabilitas variabel B3 dan B4 terlebih dahulu.

$$P(B3) = P(C11 \cup C12)$$

$$P(B3) = 1 - (1 - P(C11)) \cdot (1 - P(C12))$$

$$P(B3) = 1 - (1 - 0.24) \times (1 - 0.21) = 0.39$$

$$P(B4) = P(C13 \cup C14)$$

$$P(B4) = 1 - (1 - P(C13)) \cdot (1 - P(C14))$$

$$P(B4) = 1 - (1 - 0.22) \times (1 - 0.34) = 0.49$$

$$P(A4) = P(B3 \cup B4)$$

$$P(A4) = 1 - (1 - P(B3)) \cdot (1 - P(B4))$$

$$P(A4) = 1 - (1 - 0.39) \times (1 - 0.49) = 0.69$$

Jadi, probabilitas untuk variabel pengadaan material besi kurang baik sebesar 0.69

Dari hasil perhitungan numerik pada model fault tree analysis, variabel yang paling besar probabilitasnya adalah handling material besi kurang baik akibat kesalahan penanganan material besi, tempat material besi kurang baik, dan material besi tidak dilindungi dengan benar. Pada penelitian ini faktor penyebab waste material besi terbesar dilihat dari expected monetary value, dimana komponennya adalah variabel dan dampak yang diakibatkan oleh variabel tersebut.

4.2.4 Hasil Dampak yang Diakibatkan secara Kualitatif dan Kuantitatif

Setiap basic event memiliki dampak jika kejadian itu terjadi. Dampak kuantitatif dapat dilihat dari dampak kualitatif yang ditimbulkan dan kita sandingkan dengan dampak kuantitatif dari literatur. Pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Data Dampak Kualitatif dan Kuantitatif

Kategori	Penyebab	Dampak	
		Kualitatif	Kuantitatif
Desain	Kostruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain	- Schedule pelaksanaan menjadi mundur	11.03%
		- Pergantian dan penambahan material besi	
		- Adanya pekerjaan pembongkaran/rework	
	Perencana kurang kompeten	- Review ulang desain	5.34%
		- Durasi pekerjaan mundur	
	Adanya miskomunikasi perencanaan desain	- Terjadi kesalahan dilapangan	3.74%
		- Proses shopdrawing terhambat	
Handling	Tempat material besi kurang baik	- Besi menjadi berkarat atau bengkok	3.61%
	Kesalahan penanganan material besi	- Sisa pemotongan tidak terpakai kembali	3.48%
	Material besi tidak dilindungi dengan benar	- Tidak terawasi/dijangkau	3.47%
Pekerja	Pekerja kurang diseleksi	- Kualitas pekerjaan tidak sesuai	4.21%
	Pekerja kurang pelatihan	- Kualitas dan kuantitas kurang maksimal	2.93%
	Pekerja memiliki sifat yang buruk	- Hasil produk tidak sesuai	2.96%
	Sering terjadi pergantian pekerja	- Kualitas tidak merata	2.97%

Pengadaan	Alat hitung kurang akurat	- Boros terhadap biaya	2.61%
	Miskomunikasi dalam pengadaan	- Salah pesan dalam kualitas maupun kuantitas	3.67%
	Material besi tercecer/terbuang	- Material besi tidak bisa terpakai	2.22%
	Material besi hilang/vandalisme	- Penambahan biaya dan waktu	2.33%

Sumber : Olahan penulis (2020)

4.2.5 Expected Monetary Value

Hasil nilai expected monetary value didapatkan dengan mengalikan antara probabilitas sebuah variabel dengan nilai dampak yang diakibatkan oleh variabel tersebut. Hasil Expected Monetary Value dengan nilai probabilitas dan nilai dampak dari setiap kejadian dasar akan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.7 Nilai Expected Monetary Value Dampak Penyebab Material Waste Besi

Kategori	Kode	Penyebab	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	Expected Monetary Value
Desain	C1	Konstruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain	0.38	11.03%	4.22%
	C2	Perencana kurang kompeten	0.34	5.34%	1.81%
	C3	Adanya miskomunikasi perencanaan desain	0.28	3.74%	1.04%

Handling	C4	Tempat material besi kurang baik	0.34	3.12%	1.05%
	C5	Kesalahan penanganan material besi	0.35	3.23%	1.12%
	C6	Material besi tidak dilindungi dengan benar	0.32	3.47%	1.10%
Pekerja	C7	Pekerja kurang diseleksi	0.23	2.96%	0.67%
	C8	Pekerja kurang pelatihan	0.27	2.97%	0.79%
	C9	Pekerja memiliki sifat yang buruk	0.23	4.21%	0.98%
	C10	Sering terjadi pergantian pekerja	0.28	2.93%	0.81%
Pengadaan	C11	Alat hitung kurang akurat	0.24	2.61%	0.62%
	C12	Miskomunikasi dalam pengadaan	0.21	3.67%	0.77%
	C13	Material besi tercecer/terbuang	0.22	2.22%	0.48%
	C14	Material besi hilang/vandalisme	0.34	3.34%	1.13%

Sumber : Olahan penulis (2020)

Dapat dilihat hasil perhitungan semua expected monetary value yang telah dihitung, maka yang memiliki nilai terbesar adalah variabel C1 yaitu variabel konstruksi sudah berjalan owner melakukan perubahan desain. Kemudian variabel yang memiliki EMV terbesar kedua adalah perencanaan kurang kompeten, dan yang memiliki nilai EMV terbesar ketiga adalah material besi hilang/vandalisme. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa faktor yang mendominasi sebagai

penyebab waste adalah faktor dari kategori desain, dimana ada kesalahan ataupun perubahan desain, maka akan mengakibatkan waste yang besar.

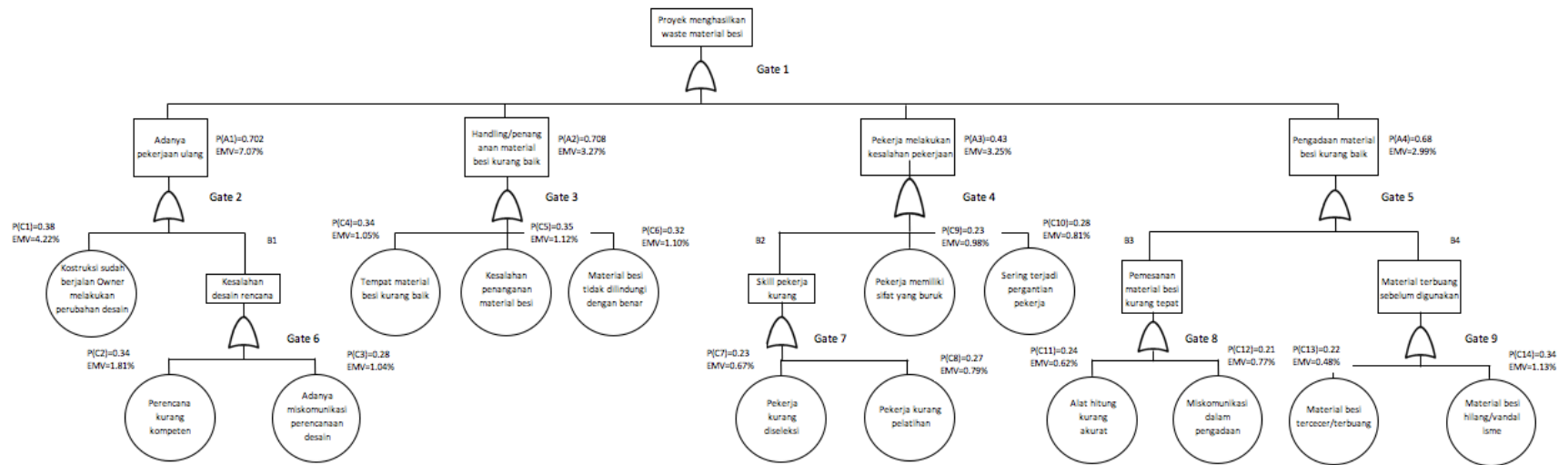
Apabila dari setiap kategori saling dibandingkan EMV-nya maka kategori desain merupakan kategori yang memiliki nilai terbesar yaitu 7.07%. Nilai probabilitas yang digunakan untuk menghitung EMV pada setiap kategori adalah nilai probabilitas intermediate event pada level 1 yang nilainya sudah dihitung pada subbab di atas. Sedangkan untuk nilai dampaknya, diambil dari dampak basic event dari intermediate event tersebut yang nilainya paling besar, sehingga dapat cukup mewakili nilai dampak terbesar yang muncul akibat dari intermediate event tersebut. Adapun nilai EMV intermediate event ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.8 Expected Monetary Value pada Intermediate Event

Kategori	Kode	Variabel	Nilai Probabilitas	Nilai Dampak	Expected Monetary Value
Desain	A1	Adanya pekerjaan ulang	0.702	11.03%	7.07%
Handling	A2	Handling/penanganan material besi kurang baik	0.708	3.47%	3.27%
Pekerja	A3	Pekerja melakukan kesalahan pekerjaan	0.43	4.21%	3.25%
Pengadaan	A4	Pengadaan material besi kurang baik	0.68	3.67%	2.99%

Sumber : Olahan penulis (2020)

Setelah didapat faktor penyebab waste material besi terbesar dan yang kategori memiliki EMV terbesar, maka perlu adanya mitigasi untuk mengurangi nilai probabilitas dan nilai dampak yang diakibatkan faktor penyebab waste material besi tersebut. Berikut bagan Final Fault Tree :



Gambar 4.5 Bagan Final Fault Tree Faktor Penyebab Waste Besi pada Proyek Toll KLBM

Pada fault tree diatas didapatkan bahwa faktor penyebab waste terbesar adalah C1 dengan nilai probabilitas 0.38 dan EMV 4.22%. Untuk intermediate event yang paling besar adalah kategori desain yaitu adanya pekerjaan ulang, dengan nilai probabilitas 0.702 dan EMV 7.07%

4.3. Mitigasi Faktor Penyebab Waste Material Besi

Dikarenakan ada tiga faktor dasar yang menyebabkan waste material besi pada proyek Tol KLBM yaitu konstruksi sudah berjalan owner melakukan perubahan desain, perencana kurang kompeten, dan material besi hilang/vandalisme.

Bentuk mitigasi dari ketiga faktor tersebut diambil dari survei kepada responden. Responden memberikan pemilihan atau diminta menambahkan terhadap bentuk mitigasi itu sendiri. Untuk menentukan efektif tidaknya suatu mitigasi, digunakan metode decision mitigasi kepada responden. Berikut tabel decision mitigasi yang dipilih oleh responden

Tabel 4.9 Decision Mitigasi Responden

Mitigasi	Nilai Mitigasi
Mereview desain dan gambar struktur dengan rekayasa nilai	45.50%
Meningkatkan komunikasi dalam perencanaan desain	45.50%
Mengadakan rapat rutin antara owner dan kontraktor	45.50%
Melakukan pengecekan material secara rutin	63.60%
Melindungi material dengan benar	63.60%
Memberikan tambahan keamanan seperti cctv	90.90%

Sumber : Olahan penulis (2020)

Berdasarkan decision mitigasi yang diberikan responden dapat mengurangi faktor dasar penyebab waste material besi pada proyek Tol KLBM.

Tabel 4.10 Faktor Terbesar Penyebab Waste Besi dan Decision Mitigasi pada Proyek Toll KLBM

Penyebab Waste Besi	Decision Mitigasi
Konstruksi sudah berjalan Owner melakukan perubahan desain	Mereview desain dan gambar struktur dengan rekayasa nilai
Perencana kurang kompeten	Meningkatkan komunikasi dalam perencanaan desain
	Mengadakan rapat rutin antara owner dan kontraktor
Material besi hilang/vandalisme	Melakukan pengecekan material secara rutin
	Melindungi material dengan benar
	Memberikan tambahan keamanan seperti cctv

Sumber : Olahan penulis (2020)